UNTERSUCHUNGEN AUS DEM PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTE DER UNIVERSITÄT...

Digitized by Google

PRESS
SHELF
No

Per. 1662 d. 42

Digitized by Google

RADCLIFFE SCIENCE LIBRARY

PARKS ROAD

OXFORD OX1 3QP

Digitized by Google

UNTERSUCHUNGEN

AUS DEM

PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTE

DER

UNIVERSITÄT HEIDELBERG.

ERSTER BAND.

Digitized by Google

UNTERSUCHUNGEN

AUS DEM

PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTE

DER

UNIVERSITÄT HEIDELBERG.

HERAUSGEGEBEN

VON

DR. W. KÜHNE,

O. Ö. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTS.

ERSTER BAND.

MIT 4 HOLZSCHNITTEN UND 7 LITHOGR. TAFELN.

HEIDELBERG.

CARL WINTER'S UNIVERSITÄTSBUCHHANDLUNG.

1878.

Digitized by Google

Alle Rechte vorbehalten.

Digitized by Google

RADCLIFFE LIBRARY UNIVERSITY 21 JUL 82 MUSEUM OXFORD

Zur Photochemie der Netzhaut.

Von **W. Kühne.**

Zweiter Abdruck.

In einer vor Kurzem erschienenen Mittheilung an die Berliner Akademie (Sitzung vom 12. Nov. 1876) veröffentlicht Herr *Fr. Boll* die schöne und ohne Zweifel überaus folgenschwere Entdeckung, dass die Stäbchenschicht der Retina aller Geschöpfe im lebenden Zustande nicht farblos sei, wie man bisher meinte, sondern purpurroth. Im Leben, sagt *Boll*, werde die Eigenfarbe der Netzhaut beständig durch das ins Auge fallende Licht verzehrt, in der Dunkelheit wieder hergestellt und im Tode halte sie sich nur einige Augenblicke. Im Hellen verweilende Thiere seien darum weniger geeignet, die Lebensfarbe der Retina erkennen zu lassen, und von der Sonne vor dem Tode *längere Zeit* geblendete Thiere zeigten sie ganz entfärbt. Hiermit ist die Beziehung der Retinafärbung zum Lichte einerseits, zum Lebens- oder Ueberlebenszustande andrerseits ausgesprochen.

Wer immer sich mit der Retina beschäftigt hat, wird durch die *Boll*'sche Entdeckung nicht ohne heilsame Erkenntniss der Grenzen seines Talentes daran erinnert sein, dass er Aehnliches schon gesehen habe, vielleicht auch des räthselhaften Blutgerinnsels, das auf oder unter der Retina plötzlich nicht wieder zu finden war, gedenken. Was da übersehen worden, dürfte nichts Geringeres, als den Schlüssel zum Geheimniss der Nervenerregung

Digitized by Google

durch Licht enthalten, oder die erste Thatsache, welche in der Retina photochemische Processe aufdeckt.

Als ich zur Prüfung des Factums schritt, hielt ich, bestärkt durch *Boll's* Mittheilung, die grösste Eile beim Ablösen des Bulbus und Herausnehmen der Netzhaut für geboten; aber ich habe mich gleich überzeugt, dass man sich dazu beliebig Zeit lassen darf, denn der **Sehpurpur** besteht ganz unabhängig vom physiologisch frischen Zustande der Netzhaut und wird dort auch im Tode **nur** durch Licht gebleicht. Bei guter Gasbeleuchtung kann man mit aller Musse die Retina ausbreiten und sehr langsam verblassen sehen, denn was sich am hellen Tageslichte in einer halben Minute vollzieht, dauert hier 20—30 Minuten, also viel länger, als *Boll* das Stadium des Ueberlebens zugibt, und im Dunkeln oder im Scheine der Natronflamme vergeht der Purpur überhaupt nicht, wenigstens nicht in 24—48 Stunden, weder beim Frosch noch beim Kaninchen, trotz deutlicher Fäulniss.

Somit war der Weg zu Versuchen mit dem Sehpurpur von manchen Hindernissen gesäubert: man nimmt alle Präparationen in einer schwarzen, nur von Natronlicht erhellten Kammer vor und trägt das Object dann in's diffuse Tageslicht. Weniger vollkommen, doch auch zum Ziele führend, dient ein Zimmer, wie es die Photographen zum Entwickeln brauchen, dessen Lichtzugänge mit gelbem Glas oder Papier verstellt sind.

Da man nicht wissen kann, wie lange die Stäbchen oder deren Theilchen nach dem Tode überlebend sind, habe ich Netzhäute vom Frosche in der Natronkammer mit den verschiedensten, ihre Structur und Mischung, ohne Frage, stark ändernden Mitteln behandelt, um zu sehen, ob die Färbung und Lichtempfindlichkeit darunter leide. Aufgehoben wurde die Farbe bei 100° C., durch Alkohol, Eisessig, concentrirteste und 10 procentige Natronlauge, nicht verändert in NaCl von 0,5 %, nicht durch starkes NH_3, Sodalösung, gesättigtes NaCl, Alaun, Bleiacetat, Essigsäure von

Digitized by Google

2 %, Gerbsäure von 2 %, 24stündiges Liegen in Glycerin, in Aether, Eintrocknen auf einer Glasplatte. In allen letzteren Fällen fand sich die Retina, an das Tageslicht gebracht, noch roth und verblasste dann mehr oder minder rasch, indem der Purpur in 1—10 Minuten in Chamois überging, von dem endlich kaum etwas zu bemerken blieb. Natürlich hängt die Sättigung der Farbe von dem sonstigen Zustande der Retina ab, ob sie glasig-hell oder milchig-weiss ist. Ist sie opak, so hat man Gelegenheit, sich von der Richtigkeit der *Boll*'schen Angabe zu überzeugen, dass die äussere, also wesentlich den Stäbchen zugehörige Schicht gefärbt ist, denn eine undurchsichtige Retina sieht von vorn weiss und nur hinten roth aus. Am schönsten wird die Farbe nach NH_3-Wirkung, welche die Netzhaut sehr durchsichtig macht, und gerade dieses Roth hält dem Lichte 10—20 mal länger Stand, als das unveränderter Netzhäute, gleiche Beleuchtung vorausgesetzt. Sehr lange hält sich ferner die Färbung der getrockneten Membran, doch weicht auch sie allmählig dem Lichte.

Aus dem genannten Verfahren der Präparation farbiger Netzhäute sieht man schon, dass nicht alles Licht den Sehpurpur bleicht. Die photochemisch wenig wirksamen Strahlen der Linie D lassen ihn unberührt, auch lassen nur stärker geröthete Netzhäute (von Rana temporaria z. B.) im Natriumlichte eine Spur davon erkennen. Die Netzhaut lebender Kaninchen in solchem annähernd monochromen Lichte, mit dem Augenspiegel betrachtet, sieht bläulich weiss, etwas perlmutterglänzend aus, mit schwarzen, wie mit Tinte gezeichneten, erstaunlich deutlichen Gefässen; ein albinotisches Kaninchenauge, seitlich davon beleuchtet, zeigt die Pupille schwarz. Man kann daher das so leicht intensiv herzustellende Natriumlicht nachdrücklich zu feineren ophthalmoskopischen Untersuchungen empfehlen.

Um zu sehen, welches Licht den Purpur bleiche, brachte ich Netzhäute, auf Glasplatten ausgebreitet, in geschwärzte, feuchte

Digitized by Google

Kammern, bedeckte sie mit einem Deckglase, auf das ich millimeterbreite Staniolstreifchen klebte, und setzte farbige Glasplatten oder Bechergläser mit farbigen Lösungen darüber. Zum Roth wurde Blutlösung von solcher Concentration genommen, dass man im Absorptionsspectrum kein Gelb und Orange mehr sah; ferner Platten, die auch etwas Violett durchliessen, für Blau Kupferoxydammoniak, für Grün farbige Plattensätze, deren Spectrum nur aus einem schmalen, grünen Bande bestand. Es zeigte sich unter dem Blute überhaupt kein Ausbleichen, unter dem rothen Glase erst nach 6 Stunden Anzeichen davon, im blauen Lichte Erbleichen nach 2 Stunden, im grünen nach 4—5 Stunden. Natürlich können solche Versuche wegen der geringen und nicht vergleichbaren Lichtintensität keine genaueren Aufschlüsse über das Problem geben, aber es erhellt daraus wohl die augenscheinlich kräftigere Wirkung der brechbareren Strahlen, besonders des blauen Lichtes. Hob man von den gebleichten Präparaten das Deckglas ab, so erschien da, wo der Staniolstreif sie geschützt hatte, ein schönes Band unveränderten Purpurs, also ein positives Photogramm. So wenig wie mit Blutroth habe ich im Lithiumlichte den Purpur zu ändern vermocht, während Magnesiumlicht ihn, wie zu erwarten, rasch entfärbte. Einmal irgendwie entfärbt, kehrte der Purpur weder im Dunkeln, noch in andersfarbigem Lichte, noch beim Erwärmen, oder in den ultrarothen Strahlen hinter berusstem Glase, das die Sonne beschien, zurück.

Nachdem ich die angeführten Versuche, wie *Boll* empfiehlt, mit im Dunkeln gehaltenen Thieren angestellt hatte, war ich gespannt zu sehen, wie eine Retina aussehen würde, welche unmittelbar nach Belichtung des Auges am lebenden Frosche in der Gelbkammer so schnell, wie denkbar hergerichtet worden. Im Sinne *Boll*'s hatte ich erwartet, sie erkennbar gebleicht zu finden, aber ich fand sie so roth, wie die andern. Der Aufenthalt der Thiere vor den Versuchen im Dunkeln ist also unnöthig.

Digitized by Google

Da das Tageslicht bei bewölktem Himmel, obwohl zum Mikroskopiren ganz gut, nicht sehr intensiv war, versuchte ich die Blendung mit Magnesiumlicht, aber auch Das liess mich im Stich. Ich meine daher, dass *Boll* den von ihm erwähnten Misserfolg, der ihn einmal beim Demonstriren der Sache störte, mit Unrecht dem Umstande zuschreibt, dass die Frösche im Hellen gehalten waren; es kann nur an der Belichtung während des Herrichtens gelegen haben, wenn er seine Präparate anscheinend gleich ausgeblichen fand.

Um zu sehen, woran es liege, dass der Sehpurpur im physiologischen Sehacte unverändert blieb, brachte ich die eine Retina eines Frosches isolirt auf eine Glasplatte, während ich die andere im exstirpirten Bulbus liess, den ich jedoch durch einen Aequatorialschnitt weit geöffnet hatte. Beide Präparate wurden hierauf an das wieder nicht sehr helle Tageslicht gebracht und darin so lange gelassen, bis das erste vollkommen entfärbt war; dann wurde das zweite ins Natronzimmer zurückgebracht, die Retina herausgezogen, auf Glas gelegt und von Neuem dem gewöhnlichen Lichte ausgesetzt; sie war dunkelroth und erblasste nun schnell. Als der Himmel sich nicht klärte, habe ich dieselben Versuche mit der Magnesiumlampe gemacht und immer gefunden, dass der Sehpurpur sich erhielt, so lange die Retina im Auge auf der Chorioïdes, sonst aber nackt, nur hinter capillaren Schichten des Glaskörpers Luft und Licht ausgesetzt blieb. Ich habe den Versuch am folgenden Tage, als die Mittagssonne kaum bedeckt und so blendend war, dass ich nicht hinzusehen vermochte, angestellt, indem ich das halbirte und entleerte Froschauge 4 Minuten bescheinen liess und selbst dann noch rothe Fleckchen in der chamoisfarbenen Retina gefunden, während nur die Ränder völlig ausgeblieben waren. Ein ganzer Bulbus, den ich mit den nöthigen Wendungen 25 Minuten demselben Sonnenlichte ausgesetzt hatte, zeigte auch noch schwachrothe Stellen neben viel

Digitized by Google

Chamois, indess war während der Blendung die Pupille ziemlich eng geworden. Da ich bei diesen Versuchen die Ausbreitung der Netzhäute im Natronlichte vornahm, könnte man glauben, dass die darauf verwendete kurze Zeit photochemischer Ruhe irgendwie Rückkehr des Purpurs veranlasst habe. Dem ist aber nicht so, denn wenn man das halbirte Auge, weitaus genügend um eine isolirte Netzhaut zu bleichen, gegen das Tageslicht hält und bei fortdauernder Beleuchtung die Retina mit raschem Griffe herauszieht, so wird man sie immer im ersten Momente prächtig roth finden. Wie man sieht, muss ich mit besonderem Nachdrucke *Boll*'s Angabe, dass im Lebenden erst längere Blendung im direkten Sonnenlichte die Netzhaut ausbleiche, bekräftigen, aber ich kann doch hinzufügen, dass Frösche, die mehrere Tage in Glaskästen, an einer sonnigen Stelle, im Freien gehalten waren, endlich farblose Netzhäute hatten. Was ich also für *Boll*'s Erfahrungen „in einem mässig hellen Zimmer" nicht in seinem Sinne deute, würde ich für grössere Lichtintensitäten mit ihm übereinstimmend auffassen.

Hält man die photochemischen Vorgänge auf der herausgenommenen Retina für das Abbild Dessen, was sich im lebenden Auge vollzieht, so wird man sich vorstellen, dass beim Sehen fortwährend Sehpurpur zerstört und durch irgend welche Vorgänge wieder hergestellt werde, wie es *Boll* schon als Vermuthung ausgesprochen hat. Die Erfahrungen der Augenärzte dürften den Regenerationsvorgang zunächst in der Ernährung durch das circulirende Blut suchen lassen, womit man die meisten derartigen Processe sich klar zu machen liebt. Indess ist die Sache weniger verwickelt. Das den Sehpurpur Restituirende liegt näher und kann beim Frosche gar nicht in der stetigen Bluterneuerung liegen, weil sein Auge ausgeschnitten, und eröffnet dieselbe schein-

Digitized by Google

bare Indifferenz gegen Licht bekundet, wie im Zusammenhange mit dem ganzen Leibe und dem Ernährungsstrome. Wenn also die Hypothese von der Restitution der lichtempfindlichen Elemente richtig ist, so muss sie von Dem ausgehen, was hinter oder an den Stäbchen liegt, also vom Retinaepithel oder der Chorioïdea. Da muss Etwas stecken, das den Purpur entweder am Bleichen hindert oder neuen schafft. Es liegt zwar der Gedanke nicht fern, dass das Pigment etwas mit der Sache zu thun habe, weil intensivere Wirkung des Lichtes zu erwarten ist, wenn die von vorn beleuchtete Netzhaut auch noch Licht von hinten erhält, wie es beim Ausbreiten auf einer weissen Fläche geschieht, als wenn sie dem sammetschwarzen, natürlichen Grunde anliegt; dass sie dies aber so lange und so sicher schützen werde, wie man es in Wahrheit sieht, war gar nicht anzunehmen. Ich habe auch nicht finden können, dass es viel für die Entfärbungszeit verschlug, wenn ich die Netzhaut mit der Stäbchenseite nach unten auf eine matt geschwärzte Fläche glatt auspinselte, und die folgenden Versuche werden hoffentlich erkennen lassen, dass man den Grund für die unzweifelhafte stete Erneuerung der lichtempfindlichen Substanz in etwas ganz Anderem suchen müsse, als in dem bekanntlich bei Albinos gar nicht vorkommenden, bei vielen Thieren hinter einem Tapetum liegenden Pigmente.

Um sich zu überzeugen, dass es nur die Chorioïdes mit dem Retinaepithel ist, welche den Purpur vor dem Bleichen im Lichte schützt, nehme man die Netzhaut so heraus, dass einige schwarze Fetzen daran bleiben, breite sie auf ein dünnes Deckglas aus und exponire nach allen Seiten. Die Forderung ist unschwer zu erfüllen, wenn man den Bulbus so ausschneidet, dass er am Opticuseintritte ein Loch bekommt, denn damit wird die Stelle beseitigt, die dem Herausziehen der inneren Häute Widerstand leistet, und vom so hergerichteten, halbirten Bulbus wird es darum leicht gelingen, die Netzhaut faltenlos zur Ausbreitung zu bringen, falls

Digitized by Google

man noch Meridianschnitte hinzufügt. Es kommt auf diese Kleinigkeiten Einiges an, weil das Pigment an unsauberen und faltigen Objecten den Lichtzutritt zu den betreffenden Netzhautstellen wirklich verhindern würde. Zieht man jetzt von dem völlig gebleichten Präparate die schwarzen Fetzen ab, so wird man Das, was darunter ist, intensiv gefärbt finden. Ein anderer Versuch, der dasselbe demonstrirt, besteht darin, dass man den halbirten Bulbus bis zur Vorwulstung ordentlicher Netzhautfalten zerrt, das Licht hineinscheinen lässt und dann rasch die ganze Retina abzieht: wo die Falten waren, finden sich weisse Streifen, während alles Uebrige noch roth ist.

Nun wurde folgender Versuch gemacht: die Netzhaut wurde am äquatorialen Schnittrande in einiger Ausdehnung gefasst, sehr vorsichtig gut zur Hälfte von Pigmentlager abgehoben, zur Stütze ein dünner Porzellansplitter untergeschoben und das Ganze bis zum völligen Ausbleichen dem Tageslichte ausgesetzt. Natürlich war die Entfärbung nur von dem abgehobenen Lappen zu constatiren, da von dem Sehpurpur in der schwarzen, spiegelnden Hohlschaale des Augengrundes nichts zu erkennen ist. Im Natronlichte liess ich nun sogleich das entfärbte Netzhautstück langsam gegen seine natürliche Unterlage zurücksinken, einige Minuten darauf liegen, wobei ich mich überzeugte, dass mein Vorhaben ohne störende Faltenbildungen gelungen war, und jetzt zog ich die ganze Retina ab: sie war überall gleichmässig roth und liess nicht einmal eine Zone erkennen, nach der man die beiden Hälften hätte unterscheiden können. Eine vom Lichte gebleichte Netzhaut wird also durch Berührung mit ihrer natürlichen Unterlage wieder purpurfarben. Es erübrigte noch, den ganzen Versuch im wirksamen Lichte zu machen, und auch Das gelang, aber die restituirte Hälfte war etwas blasser als die andere. Ich zweifle nicht, dass diese Versuche Jedermann gelingen werden, ja, ich gehe noch einen Schritt weiter und empfehle das Herausschneiden

Digitized by Google

eines Lappens, Bleichen auf dem Teller, Zurücklegen auf das entblösste Pigment, wobei man sehen wird, dass jedes normal angelegte Stück seinen Purpur wieder gewinnt. Die Regeneration ist mir auf solche Weise öfter so gut gelungen, dass ich mich ernstlich veranlasst fand, mit einem Stückchen Seidenpapier nachzusehen, ob der Augenbecher nicht eine kleine rothe Pfütze einschliesse; doch kam der Schnitzel wohl feucht, aber ohne Farbe heraus.

Am Froschauge sind solche Versuche mit aller Sorgfalt ohne Eile auszuführen; da aber die Regeneration des Sehpurpurs, anders als die Färbung an sich und ihre Lichtempfindlichkeit, die Action lebender Gewebe voraussetzt, so versagen sie, wenn diese wirklich aufgehört haben, zu überleben. Ich habe Froschaugen in 0,5 procentigem NaCl 10 Minuten auf 43° C. erwärmt, darauf halbirt, dem Lichte ausgesetzt und die Netzhäute dann immer weiss gefunden. Da so erwärmte Augen unbeleuchtet noch rothe Netzhäute haben, so waren sie also durch das Licht entfärbt. Dasselbe geschah in Augen, die innerhalb Tagesfrist bei etwa 20° C. abgestorben waren. Es bleibe hier nicht unerwähnt, dass die Misserfolge an cadaverösen Augen wiederum beweisen, wie das Pigment, im gewöhnlichen optischen Sinne genommen, für die Erhaltung des Sehpurpurs bedeutungslos ist.

Wenn es bei der Regeneration des Purpurs auf eine überlebende Unterlage der Stäbchen ankommt, so ist vorauszusetzen, dass die schnell zersetzlichen Organe von Säugethieren zu diesen Versuchen wenig geeignet sind. Allerdings scheint hier Eile nöthig, aber es ist mir doch sehr wohl gelungen, an Stücken der hintern Bulbushälfte des Kaninchens die Retina nach 2 Minuten langer Beleuchtung, die vollauf genügte, ein isolirtes Stück bis auf die Blutgefässstreifen auszubleichen, noch prächtig roth abzuziehen. Auch beim albinotischen Kaninchen, wo die Umstände besonders günstig scheinen mussten, meine ich den Farbenunterschied zwi-

Digitized by Google

schen einem natürlich gelagerten und einem abgezogenen Retinastücke erkennen zu können, besonders wenn das erstere, nach dem Verbleichen des andern, ebenso auf Porzellan ausgebreitet wird. Indess kann ich mich darüber nicht mit voller Sicherheit aussprechen, weil die Netzhäute der mir grade zu Gebote gewesenen Exemplare dieser hier z. Z. schwer zu erwerbenden Varietät, trotz längeren Aufenthaltes im Dunkeln, keinen recht intensiven Purpur und nach der Lichtwirkung eine wenig veränderliche, blasse Orangefärbung im Auge zeigten, die an Säugethiernetzhäuten überhaupt nicht ganz unbekannt sein mag. Es dürfte um so mehr von Interesse sein, diese, vielleicht schon von vornherein neben dem Purpur vorhandene Farbe zu untersuchen, als *Boll* die sehr wichtige Bemerkung macht, dass in der Froschretina auch grünlich-blaue Stäbchen vorkommen; dass es auch albinotische Augen mit sehr entwickeltem Purpur gibt, sah ich später bei Experimenten, über die ich zu anderer Gelegenheit berichte.

Ich komme nach der letzterwähnten Versuchsreihe wiederum zu dem Schlusse, dass man nicht an der Existenz des Sehpurpurs und an seiner Vergänglichkeit im Licht, sondern an seiner Aechtheit gegen Licht das Ueberleben des äussersten Sehapparats erkennt, und ich denke, dass man es im Froschauge erkennen und so lange constatiren kann, steht in erfreulicher Uebereinstimmung mit Herrn *Holmgreen*'s schönen Versuchen über Retinaströme und deren Aenderung während der Reizung durch Licht. (*F. Holmgreen.* Upsala Läkareförenings Förhandlingar 1871. ref. im Centralbl. f. d. med. Wiss. 1871. S. 423 u. 438.)

Welche Theile der Chorioïdea die den Purpur herstellenden seien, ist z. Z. nur zu vermuthen; wahrscheinlich wird man dieselben weniger in der Aderhaut, als in dem mit Recht zur Retina gezählten Epithel, dessen Zellen die Stäbchen umgreifen, suchen müssen. Damit verbunden, verhält sich die Netzhaut

Digitized by Google

nicht nur wie eine photographische Platte, sondern wie eine ganze photographische Werkstatt, worin der Arbeiter durch Auftragen neuen lichtempfindlichen Materials die Platte immer wieder vorbereitet und zugleich das alte Bild verwischt.

Nachschrift.

Die Annales d'Oculistique T. LXXVII., p. 81 enthalten einen den vorstehenden Aufsatz betreffenden Bericht, gez. *E. W.* (Warlomont), der eine Abweisung von meiner Seite verdient.

Herr *W.* reproducirt in französischer Uebersetzung ein Referat von *Gamgee* in der Zeitschrift „Nature" und knüpft daran folgende Bemerkung: Tout le mérite de la découverte de la coloration propre de la rétine appartient à M. le professeur *Boll*, avec toutes ses conséquences dont *M. Kühne* nous paraît s'être prématurément emparé. M. *Boll* avait évidemment entrevu toutes ces conséquences, et il eût été de bon goût, nous semble-t-il, de lui laisser le temps de les dérouler à l'aise. C'est donc sans droit, que nous voyons déjà dès à présent, la presse parler, à propos de ce fait, „des découvertes de MM. *Boll* et *Kühne*" et le nom de ce dernier associé à celui du seul inventeur.

Offenbar kennt der Verfasser weder *Boll*'s noch meine Mittheilung im Original, wie es der Leser von einem Berichterstatter, der solche Urtheile fällt, voraussetzt, wenn er ihn nicht für leichtsinnig halten soll. Da sich Herr *W.* bei seinem Vorgehen der Pflicht, die Originale zu lesen, für überhoben hielt, so ist ihm erstens entgangen, dass seine Reclamationen bei Niemandem schlechter angebracht waren, als bei mir, der Herrn *Boll* sachlich gerechter wurde, als Irgendeiner es vermag, und zweitens vollständig von ihm übersehen, dass in der Frage auf zwei ganz getrennten Ge-

Digitized by Google

bieten gearbeitet wurde, indem ich das von Herrn *Boll* gewählte Feld zum Nachweise der Lichtempfindlichkeit der Netzhautfarbe gar nicht betreten habe, sondern auf demjenigen vorging, das ich mir durch eine fundamentale Berichtigung *Boll*'s erst geschaffen hatte.

Wer die Originalmittheilung kennt, weiss, dass *Boll* die Beziehungen der Stäbchenfarbe zum Lichte ausschliesslich begründet durch die Beobachtung im diffusen Tageslichte erblasster und im direkten Sonnenlichte durch **längere** Blendung entfärbter Netzhäute lebender Frösche und dass sein Zusatz, die Farbe werde beständig durch das in's Auge fallende Licht verzehrt, im Dunkeln wieder erneuert, im ersteren Punkte keine Thatsache, sondern eine Hypothese ist. Wir haben zu warten, bis *Boll* eingehend beweist, dass die ungemein langsame Ausbleichung bei lebenden Fröschen die Beziehung des Purpurs zum Sehacte aufdeckt. Sollte das ohne Benutzung meiner Funde, nicht geschehen können, so wird es gleichwohl *Boll*'s Verdienst bleiben, Beziehungen der Stäbchenfarbe zum Lichte zuerst und unter sehr ungünstigen Verhältnissen gefunden zu haben. Für wie gross dieses Verdienst zu halten sei, dürfte ich besser, als Herr *W.* ausgesprochen haben, indem ich auf Diejenigen wies, welche Jahre zuvor das Stäbchenroth mit seiner Vergänglichkeit erkannt und nichts damit anzufangen gewusst hatten.

Dem gegenüber habe ich durch den Beweis, dass an der **isolirten** Netzhaut nur das Licht den Purpur entfärbt und momentan bleicht, jene Bedeutung der Farbe für das Sehen auf einem neuen, von mir gefundenen Wege festgestellt und ferner aus der Hypothese von der beständigen Purpurzehrung die Thatsache der örtlichen und immer wirkenden Regeneration gemacht, die weit über *Boll*'s Annahmen hinausgeht, welche der auch im Lichte erforderlichen Neubildung der Farbe gar nicht gedenken. Dazu habe ich gefunden, dass die Optographie im

Digitized by Google

lebenden, wie im todten Säugethierauge durch scharfe Bilder Zeugniss von der Lichtwirkung weniger Minuten ablegt (Centralbl. f. d. med. Wiss. 1877. Nr. 3); ein entscheidender Versuch, den nur Der unternehmen und über ungeahnte Schwierigkeiten hinweg zur Ausführung bringen konnte, welcher wusste, dass Absterben den Purpur nicht verändert. Dass endlich ein durch Licht chemisch veränderlicher, am Orte der Lichtwirkung bleibender **Körper** Ursache der Netzhautfarbe sei, habe ich erst erwiesen und erweisen können, nachdem ich die Bedeutungslosigkeit cadaveröser und vieler anderer Structurveränderungen für die Farbe erkannt und damit zuerst das Recht erworben hatte, der Retina photochemische Processe zuzuschreiben.

Wenn Herr *W.* jetzt meint, das Alles habe *Boll* auch finden können und voraussetzt, dass derselbe sich von dem Irrthume seiner Vorgänger, das Schwinden der Netzhautfarbe hänge mit dem Absterben zusammen, zu befreien wusste, so wird er beim Nachschlagen der Berl. Akad. Berichte zu seiner Ueberraschung bemerken, dass *Boll* mindestens 4 Monate „à l'aise" arbeitete und übersah, was ich in 4 Tagen fand. Er wird dann nicht mehr glauben, dass mit einem derartig berichtigendem Factum und dessen unmittelbaren Consequenzen zurückzuhalten sei, und einsehen, dass hier Schweigen die Wissenschaft um einen raschen Fortschritt gebracht hätte, auf den Niemand verzichten möchte und alle Die nicht verzichtet haben, welche mit Recht weder auf *Boll*'s, noch auf meine Ausführungen warten, um die ophthalmoskopische Sichtbarkeit des Sehpurpurs und dessen Vorkommen im Menschenauge festzustellen. Ueberdies ist der Beweis da, dass *Boll* auch in weiteren 2 Monaten selbständig nicht auf den Versuch kam, eine herausgenommene Netzhaut im Dunkeln zu halten, um zu prüfen, ob sein Vorschlag durch den Verlust der Netzhautfarbe den Tod forensisch festzustellen, empfehlenswerth sei. Herr *W.* möge sich dafür die Mittheilung vom 6. Jan. bei den Lincei

Digitized by Google

ansehen, wo *Boll* wieder den Weg geht den er betreten musste, wenn er in dem ersten verhängnissvollen Irrthume beharrte.

Vermuthlich wird Herr *W.* jetzt bedauern, indem er mir etwas anzuhängen versuchte, seinen Zweck so verfehlt zu haben und sich in Zukunft besser besinnen, ehe er es wieder unternimmt in der Physiologie mitzureden.

Herr *W.* schliesst: „Deux gamins suivaient un trottoir, l'un d'eux sifflait un air, dont il n'était qu'à la moitié, quand le second se mit à le continuer: Une autre fois, lui dit le premier le regardant très-mécontent, tu voudras bien commencer toi-même.“ Herr *W.* sucht Beispiele auf der Gasse, bevor er weiss, worauf sie passen sollen; oder er horchte, statt seine Pflicht zu thun und an der Quelle Gewissheit zu suchen, an einem Orte, von dem er erfahren kann, dass er unrein ist.

Digitized by Google

Ueber den Sehpurpur.

Von **W. Kühne.**

Die im Eingange des vorigen Aufsatzes ausgesprochene Vermuthung, dass manche Beobachter die rothe Farbe der Netzhaut gesehen hätten, lange bevor sie durch *Boll*'s Mittheilungen so hohes Interesse gewonnen, findet in der reichen Literatur über den Bau der Retina Bestätigung. Abgesehen von der bei *Boll* angeführten Entdeckung rother Stäbchen durch *A. Krohn* bei den Cephalopoden, wird ihres Vorkommens zuerst 1851 von *H. Müller* bei Wirbelthieren gedacht. Die Wichtigkeit des Gegenstandes wird eine wörtliche Wiedergabe der wesentlichen Angaben rechtfertigen.

A. Krohn sagt in seinen am 24. Sept. 1839 übergebenen, in den Verhandlungen der Leop. Carol. Akad. Bd. XIX. II. 1842 gedruckten „nachträglichen Bemerkungen über den Bau des Cephalopodenauges" S. 45: „Dicht am schwarzen Streifen sind die Fasern (Sehstäbe) von röthlicher Farbe, an ihrem der Glashaut zugekehrten Ende aber ganz farblos: daher die Transparenz und der rosenröthliche Schimmer der inneren Retinafläche."

Von *V. Hensen* wird dies S. 39 seiner Schrift über das Cephalopodenauge (Leipzig 1865) mit den Worten bestätigt: „in der frischen Retina haben sie (die Stäbe) einen röthlich schimmernden, homogenen Inhalt."

1869 (Archiv f. mikrosk. Anatomie. Bd. II. S. 3) bemerkt *M. Schultze* über das Cephalopodenauge: „die rosenrothe Farbe

Digitized by Google

beruht auf einer diffusen Färbung der ganzen Dicke der Stäbchenschicht (Taf. I, Fig. 1, farbige Abbildung), ist aber nur an frischen Exemplaren sichtbar, wo ihrer schon *Krohn* Erwähnung thut. Mit dem Mikroskop ist sie nur an dickeren Schichten abgelöster Stäbchen erkennbar." Weiter bemerkt *Schultze*, dass er das schönste Rosenroth bei einem fast pigmentfreien, grossen Exemplare von Loligo gesehen habe. Bekannt sind ferner die Beschreibungen und schönen Abbildungen in der Schrift des grossen Retinakenners über die zusammengesetzten Augen der Krebse und Insekten (Bonn 1868), welche die mächtigen Sehstäbe jener Thiere mit dem Purpur behandeln.

Für die **Wirbelthiere** finden sich die ersten Angaben in den bahnbrechenden Arbeiten von *Heinrich Müller*. 1851 (Zeitschr. f. w. Zoologie. III. S. 234—237) schreibt *Müller*: „Die Stäbchen der Frösche erscheinen an sich selbst, wo sie in einer gewissen Dicke übereinander liegen, etwas röthlich, und man kann ein einzelnes Stäbchen abwechselnd farblos und gefärbt sehen, je nachdem es sich legt oder aufrichtet." 1856 (a. a. O. VIII. S. 1—122) kommt *M.* hierauf zurück: „Die Substanz der Stäbchen sieht man, wie ich in meiner ersten Notiz bemerkt habe, öfters röthlich, wenn sie eine gewisse Dicke hat, also wenn ein Stäbchen aufrecht steht, oder viele übereinander liegen. Diese Färbung ist nicht überall gleich, bald stärker, bald schwächer, manchmal unmerklich, und obschon sie auch in ganz frischen Augen vorkommt, möchte sie vielleicht von einer Imbibition mit Blutfarbstoff abhängen. Auch die Färbungen, welche an den Zapfen der Vögel vorkommen, breiten sich durch Imbibition auf die Umgebungen aus."

Sechs Jahre später sagt *Fr. Leydig* (Lehrb. d. Histologie, 1857, S. 238 u. 239): „Die Stäbchen der Amphibien (Rana, Pelobates z. B.) haben, wenn sie in grösserer Anzahl beisammen liegen, einen rosenrothen, bei manchen Fischen (z. B. Cobitis fossilis) einen

Digitized by Google

gelblichen Schimmer. Die frische Retina des Frosches z. B. zeigt dem blossen Auge einen lebhaft rothen Atlasschiller.“ Erst 1866 ist hiervon, also von rothen Stäbchen der Wirbelthiere, wieder bei *Max Schultze* (dessen Archiv II. 199) die Rede, mit den Worten: „Ganz ungewöhnlich lange Stäbchen bietet die Ratte dar, deren frisch aufgehobene und mit der Chorioïdalfläche nach oben gelegte Retina einen auffallend deutlichen Atlasglanz mit röthlichem Schimmer zeigt, ähnlich wie die Retina der Eule und des Frosches.“ Ebenda, S. 208, heisst es weiter: „Dieselbe (Retina der Eule) bietet in sehr ausgezeichnetem Grade den röthlichen Atlasglanz dar, der sich bei ungewöhnlicher Länge der Stäbchen auch bei den Säugethieren einstellt.“

Aus diesen Angaben entnimmt man, dass die Untersucher meist Gewicht legen auf den frischen Zustand der Netzhaut, ohne an Beziehungen zum Lichte zu denken, dass die Färbung zum Theil mit der Stäbchenlänge in Verbindung gebracht wird, und die wiederholte Erwähnung des Atlasglanzes und der Schillerfarbe lässt bei den meisten Beobachtern den Gedanken vermuthen, dass sie die Erscheinung weniger auf Farbstoffe, als auf Interferenz beziehen. Aehnliches findet sich bei *Boll* direkt ausgesprochen, indem er die Färbung geradezu als Zeichen des Ueberlebens auffasst, dagegen Untersuchungen in Aussicht nimmt über die Frage, ob sie durch Interferenz oder durch einen Farbstoff, also durch eine besondere Substanz bedingt sei.

Ohne sagen zu wollen, dass die Retinaliteratur nicht mehr Angaben über das Stäbchenroth aufweise, erwähne ich schliesslich der Arbeiten von *E. Rose* über die Wirkung der Santonsäure, in denen von einer röthlichen und grauröthlichen Färbung der Kaninchenretina die Rede ist, die ich auf den Sehpurpur meine beziehen zu müssen (Virchow's Archiv. Bd. XVIII. 15 u. 16).

Digitized by Google

Die Fortsetzung der Untersuchungen über den Sehpurpur an dieser Stelle hat nicht den besondern Zweck, seiner Verbreitung in der Thierreihe systematisch nachzugehen, um so weniger, als die vorhandenen Angaben keinen Zweifel über die Häufigkeit des Vorkommens gestatten: zahlreiche Wirbellose besitzen rothe Stäbchen und unter den Wirbelthieren ist die Färbung bei den Amphibien, bei einem Nachtvogel und bei Säugern, ausserdem, wie *Boll* ausführt, bei der Taube, den Knorpel- und Knochenfischen erkannt.

Mit der Erkenntniss der Lichtempfindlichkeit des Sehpurpurs hat sich vielfach, wie ich dies zahlreichen Zuschriften und anderen Aeusserungen entnehmen muss, die Ansicht ausgebildet, dass man nun ziemlich genau wisse, wie die Erregung der Opticusenden durch Licht zu Stande komme. Ich kann dieser Meinung nur sehr bedingt beipflichten, obwohl ich mir zum Zwecke weiterer Untersuchung die sich Jedermann aufdrängende Hypothese bilden musste, dass die verschiedenen Insolationsprodukte des Sehpurpurs, nämlich der orange, der gelbe, und besonders der farblose Stoff chemische Reize für die Opticusenden seien, während der ursprüngliche Sehpurpur das unwirksamere, dieselben nicht afficirende Medium darstelle. Ich möchte jedoch die Hypothese nicht aussprechen ohne die Warnung daran zu knüpfen, dass man sich in dem Sehpurpur nicht die einzige lichtempfindliche Substanz der Netzhaut denke. Dass die Bewegung des Lichtäthers in der Netzhaut in chemische Processe übergehe, ist ein Gedanke, der seit Jahren in der Luft liegt, auch wo man keine Ahnung vom Sehpurpur hatte, und nichts berechtigt zur Annahme, dass die dafür vorauszusetzenden Stoffe uns alle durch die Farbe kenntlich seien. Man muss es für einen besonderen Glücksfall halten, dass einer davon uns durch diese Eigenschaft zugänglich wurde. Es ist erst zu erweisen, dass man mit ausgeblichenem Purpur schon blind sei und es bleibt noch festzustellen, ob alle Sehorgane mit Purpur ausgestattet sind.

Digitized by Google

Eine zweite vielgehörte Annahme betrifft die Bedeutung der Bleichungsprodukte für die Frage nach der Angriffsstelle des Sehnerven durch das Licht, mit a. W. wo man das Ende der Opticusfaser zu vermuthen habe. Man kann sich vorstellen, die feinsten Ausstrahlungen einfach leitender Fasern umgriffen die lichtbrechenden Körper im Innengliede der Stäbchen und begäben sich in das rothe Aussenglied: dann würden die letzten Enden, deren Gleichartigkeit hinsichtlich des Baues, der Mischung und Erregbarkeit mit den Stammfasern und allen echten Nerven beizubehalten bliebe, in einfachster Weise durch die Lichtwirkung in eine mit erregenden Aetzmitteln getränkte Umgebung versetzt. Wenn das richtig ist, sollte man denken, dass die Rückfläche der Retina auch für den frischen Querschnitt des motorischen Froschnerven im Augenblicke der Belichtung zum Reizmittel werde. Ich habe den Versuch seit den ersten Tagen meiner Beschäftigung mit dem Sehpurpur oft und mit den empfindlichsten Präparaten angestellt, unter mannigfacher Abänderung hinsichtlich der Dauer und Intensität der Belichtung und niemals Zuckung des Froschschenkels erfolgen sehen, auch nicht, wenn ein blendender Sonnenstrahl plötzlich ins Dunkelzimmer durch die dem Nerven untergelegte Netzhaut fiel. Da man zweifeln kann, ob ein Nervenquerschnitt, an welchem das Mark die Axencylinder leicht umwallt, so günstig für den Angriff chemischer Reize ist, wie die in den Stäbchen möglichen, feinsten Auffaserungen es sein dürften, habe ich das Bleichen der Retina auf der äussern, wie auf der inneren Hautfläche reflexempfindlicher Frösche vorgenommen, aber stets resultatlos, d. h. ohne Reizung der Hautnerven durch Reflexe kenntlich machen zu können. Obgleich ich die Annahme durch solche Versuche, gegen die manche, augenblicklich nicht weiter zu erörternde Einwände zu erheben sind, nicht für widerlegt halte, meine ich ihr eine andere vorziehen zu müssen.

Wo es auf chemische Reizung empfindender Nerven abgesehen

Digitized by Google

ist, finden sich überall besondere epitheliale Organe ans Ende der leitenden Faser gefügt, deren gänzliche Abweichung in Bau, Mischung und Erregbarkeit gegenüber der gemeinen Nervenfaser Niemand bezweifelt. So sind die Enden der Geruchs- und Geschmacksnerven vor Allem beschaffen und solches Sinnesepithelium sieht nicht nach einer blossen Umhüllungsmasse durchgehender Nervenfibrillen aus, die etwa als Stiftchen und Härchen über die Oberfläche durchragten. Wäre dem so, so müsste man erwarten, dass da, wo wirklich solche Terminalfibrillen vorkommen, auch gleiche Reizbarkeit walte, und man müsste mittelst der *Cohnheim*'schen Nerven des Corneaepithels Brennen im Auge fühlen, wo wir mit der Nase Moschus oder Rosenöl spüren. Soll man nun für das Opticusende und dessen Sinnesepithel an dem Tage, da wir darin durch Licht chemisch veränderliche Stoffe finden und in der Erregung durch Licht chemische Reizung erblicken, eine Ausnahme machen? Gewiss nicht! Das sogenannte Innenglied der Stäbchen erscheint uns jetzt auch physiologisch als die Sinnesepithelzelle gleich den Riech- und Geschmackszellen, ihre Cuticula, das Aussenglied, als der durch Licht zersetzliche Theil, während der kernhaltige, protoplasmatische Theil zu demjenigen wird, den die Bleichungsprodukte in Erregung versetzten. Hierbei ist der Möglichkeit Raum gelassen, dass ein Faden des Zellenleibes oder eine Fortsetzung flüssigen Materials, das dieser enthält, sich bis weit ans Ende des Aussengliedes als weicher *Ritter*'scher Faden oder als Füllsel eines *Hensen*'schen Canales erstrecke. Wie Riechzellen geändert, erregt werden durch die kleinsten, aller Berechnung spottenden Mengen riechender Stoffe, so kann es der Sehzelle ergehen mit den geringsten Spuren von Bleichungssubstanzen, die in sie gelangen.

In dieser Auffassung der Anfänge der Gesichtsempfindung liegt zugleich eine wünschenswerthe Anknüpfung an die Lehre von der Entwicklung der höheren Sinnesorgane, welche für die Retina

Digitized by Google

z. B. in der Darstellung von *G. Schwalbe* (Handbuch der Ophthalm. v. *Gräfe* u. *Saemisch*) besonders consequent durchgeführt wurde.

Wer den feineren Bau der Netzhaut kennt, wird hier die Frage aufwerfen, welche Bedeutung bei solchen Voraussetzungen den von *M. Schultze* mit so grosser Sorgfalt untersuchten und als Fäserchen in den Riefen der Stäbchenoberfläche, sowie als Fadenapparat und unter dem Namen von Faserkörben, an den Innengliedern beschriebenen Gebilden noch zukommen könne. Hier wolle man nicht vergessen, dass sich das Retinaepithel soeben als ein physiologisch oder chemisch hochwichtiger Bestandtheil der Netzhaut erwiesen hat, um es kurz zu sagen, als eine purpurzeugende Drüse, deren Zellen wohl kaum einer sehr verwickelten Innervation ermangeln dürften. Ich sehe nicht, dass diese aus andern Quellen, als aus der Nervenmasse der Netzhaut, erregende Fasern erhalten könnten und wenn man weiss, dass die Strähnen der Epithelzellen, in welchen schon vor 10 Jahren *Czerny* (Wien. Akad. Ber. LVI.) rhizopodenartige Fortsätze vermuthete, höchst verschiebbare Gebilde sind, in denen z. B. das Pigment im Leben in auffälligster Weise umherwandert und sich abschichtet, so wird man gern glauben, dass nicht nur die Fadenapparate, Faserkörbe und Belegfäserchen, sondern selbst die durch die Limitans externa tretenden Nadeln *M. Schultze*'s zum Theil etwas mehr, als formenreiche Rindenverdickungen oder Kittmaterie seien, nämlich feinste Nervenfibrillen.

Endlich will ich noch eine Annahme nicht unerwähnt lassen, nach welcher die Veränderung des Sehpurpurs Folge einer Erregung specifisch nervöser Elemente durch das Licht sein könnte. Dagegen spricht vernehmlich genug die Lichtempfindlichkeit jeder todten Netzhaut, aber ehe ich sie kannte, habe ich nicht versäumt, frische Netzhäute vom Frosche im Dunkeln mit jeder Art elektrischer Reizung zu behandeln; der Erfolg war, wie man

Digitized by Google

ihn jetzt voraussagen muss, ein völlig negativer: der Sehpurpur erblich niemals.

Um nichts unbeachtet zu lassen, mag dazu noch bemerkt werden, dass man an eine specifische Erregbarkeit der Opticusendorgane durch Licht, vielleicht mittelst lichtempfindlicher, aber farbloser Stoffe, die ihrerseits erst den Purpur zersetzten, denken könnte, wenn nicht die Unveränderlichkeit des letzteren gegen die verschiedensten chemischen Eingriffe schon bekannt wäre. Dies schliesst die Wichtigkeit von Versuchen nicht aus, welche neben der Bleichung andere chemische Zersetzungen in der Retina durch Licht darlegen würden, allein ich bin damit nicht glücklich gewesen, insofern das einfachste Mittel, die Lakmusreaction, wenigstens keine Veränderung der Alkalescenz nachwies. Eine frische Froschretina ist nach möglichst vollkommener Abspülung des alkalischen Glaskörpers in NaCl von 0,5 pCt. deutlich alkalisch und macht, auf Lakmuspapier oder *Liebreich*'schen Täfelchen zerdrückt, einen deutlich blauen Fleck. Entsteht der Anschein des Gegentheils, so liegt es an den in die Poren und Dellen ziehenden rothen Stäbchen; wo die Reaction im Umkreise durch Flüssiges bedingt ist, wird man nie das deutlichste Blau vermissen und es am Lichte nicht in Roth übergehen sehen, während man da, wo der rothe Stäbchenbrei die Reaction verdeckte, am Lichte das Blau nachträglich erkennen wird. Zerquetschte ich Netzhäute im Agatschälchen und liess den Brei am Lichte ausbleichen, so zeigte dieser nur alkalische Reaction.

Die vorstehenden Erwägungen veranlassten mich zunächst nachzusuchen, ob alle bisher für lichtempfindlich gehaltenen Elemente der Retina Sehpurpur enthielten. Beim Frosche war es mir gleich aufgefallen, dass die Zapfen niemals eine Spur des Purpurs erkennen liessen. Man sieht in einer regelmässig ausgebreiteten

Digitized by Google

Froschnetzhaut, die man mit der Chorioïdalfläche gegen das Deckglas einer flachen, feuchten Kammer sich ansaugen lässt, die Zapfen bekanntlich bei richtiger Einstellung sehr deutlich zwischen den Stäbchen in der Tiefe stehen, wo sie durch den stark lichtbrechenden Körper ihres Innengliedes besonders kenntlich werden. Ich habe hier röthliche Färbung niemals entdecken können, und wenn höher eingestellt wurde, den Raum zwischen den Stäbchen nie anders, als complementär zum Sehpurpur d. h. bläulichgrün gefunden, grade so, wie die Zwischenräume auch, in denen keine Zapfen stehen. Dieselbe Farbe kommt, wie es *Boll* schon angibt, immer einer gewissen Anzahl von Stäbchen zu, nämlich solchen, die etwas getrübt sind, und welche meist das *Leuwenhoek*'sche Bildchen, welches *Boll* und *M. Schultze* in den Stäbchen des Frosches entworfen fanden, im Gegensatze zu ihren klaren, rothen Nachbarn nicht zeigen, wenn man ein Object zwischen Spiegel und Blendung des Mikroskops schiebt. Die in Grau abgestufte Färbung entsteht erst durch simultanen, nachher verstärkt, durch successiven Contrast und wird auch an Einrissen und Lücken des Präparats unvermeidlich gesehen, falls diese nicht zu gross und besonders falls sie mit etwas Trübem gefüllt sind, das den vollen Durchgang des Lichtes hemmt. Wo sich ferner Stäbchen wie die Halme eines von Wind und Regen getroffenen Kornfeldes um- und niedergelegt haben, was sich dem blossen Auge an der rothen, frischen Retina sogleich durch das Auftreten atlasglänzender Streifen zu erkennen gibt, finden sich im mikroskopischen Anblicke ganze Streifen und Züge von solcher bläulichgrüner Färbung. Die Entstehungsursache dieser prächtig aussehenden Bilder liegt darin, dass die Stäbchen nicht intensiv genug geröthet sind, um den Purpur anders, als in der Richtung der Axe erkennen zu lassen (vergl. *H. Müller* l. c.). Man muss sich zum mindesten sehr eilen, um die Zeit der intensivsten Färbung nicht zu verlieren, wenn man an einzelnen auf der Seite liegenden Froschstäbchen

Digitized by Google

noch Andeutungen davon erkennen will. Vielleicht ist übrigens ausser dem ungenügenden Querdurchmesser, auch der Glanz beim Anblicke auf den Mantel des Cylinders der Farbenwahrnehmung ungünstig. Man versteht hiernach, weshalb der umgelegte Rand eines Netzhautpräparates nur in dem Falle roth aussieht, wo die Stäbchen in genügender Anzahl übereinander liegen, und weshalb Reihen und Züge umgelegter Stäbchen, die man ohne die rothe Umgebung grau sehen würde, zwischen den als roth erkennbaren durch Contrast bläulichgrün aussehen müssen. Dass die aufrecht stehen gebliebenen Stäbchen, wenn sie die letztere Färbung zu haben scheinen, nicht in Wahrheit gefärbt sind, erkennt man beim Einlegen eines mit wenigen feinen Löchern durchstochenen Scheibchens schwarzer Pappe an die Stelle des Ocularmikrometers; der rothe Grund ist dann verdeckt und man hat es durch Schieben am Object in der Hand, unter den Löchern bald rothe, bald farblos graue, weniger glänzende Stäbchenquerschnitte auftauchen zu lassen. Sind alle Stäbchen ausgeblichen, so bleiben übrigens die complementären, obwohl deren Farbe natürlich mit erloschen ist, immer noch scharf kenntlich an der geringeren Durchsichtigkeit.

Anders steht es um wirklich grüne, gradezu grasgrüne Stäbchen, die in der Froschnetzhaut vorkommen. Diese sind meist durchsichtig, geben das *Leuwenhoek*'sche Bildchen, bleichen etwas langsamer aus, als die rothen, halten der Isolirprobe im Oculardiaphragma Stand, und sind mir gelegentlich isolirt, auf dem Kopfe stehend in voller Farbenpracht begegnet. Ich zweifle nicht, dass *Boll* diese Stäbchen in seiner zweiten Veröffentlichung bei der Acad. d. Linceï v. 7. Jan. d. J., S. 3 u. 4, vornehmlich im Sinne hat, doch bin ich ausser Stande ihr Auftreten in die Beziehung zur Farbe der Belichtung zu bringen, deren *Boll* nach Versuchen an Fröschen, welche unter grünen Gläsern lebten, gedenkt. Bei Dunkelfröschen fand ich diese Stäbchenart auch inconstant.

Da die Aussenglieder der Zapfen in der Froschretina sehr

Digitized by Google

kurz und schmal zulaufend sind, ist möglicherweise ein wirklich vorhandener Purpurgehalt daran nicht zu erkennen. Ich habe darum Aufschluss gesucht bei der zapfenreichen Netzhaut der Vögel (Taube, Huhn), obwohl hier von den bekannten Pigmentkugeln und andern Färbungen der Zapfeninnenglieder von vorneherein Hindernisse für die Beobachtung zu erwarten waren. Der Erfolg meiner zahlreichen Beobachtungen war ein negativer: diese Vogelretina lässt überhaupt keinen Sehpurpur erkennen. Es ist für meinen Farbensinn, sowie für den aller Personen, denen ich die frischen Netzhäute vorlegte, unmöglich gewesen, eine Aenderung der Farbe im zerstreuten Tages- oder direkten Sonnenlichte wahrzunehmen, weder an dem mittleren, hauptsächlich durch rothe Pigmentkugeln gegen Tageslicht echt gefärbten, noch an dem peripheren, gelblichgrün gefärbten Theile. Da beide Regionen sowohl Stäbchen, wie Zapfen führen und da an der Peripherie die meisten Elemente frei sind von Pigmentkugeln, so meine ich, dass man den Sehpurpur der Vögel sehen müsste, wenn er existirte. Wo in frischen Präparaten ganze Haufen abgelöster Aussenglieder in dicker Schicht zusammenlagen, habe ich nie eine Andeutung von Purpur gesehen. Hiernach würden Taube und Huhn keinen durch Licht veränderlichen Farbstoff in den Aussengliedern haben, und damit wäre erwiesen, dass das Sehen nicht ausschliesslich auf der Anwesenheit eines solchen beruht.

Aus *M. Schultze*'s Entdeckungen über das Auge lichtscheuer Vögel wissen wir, dass intensiv gefärbte Pigmentkugeln nicht allen Vogelnetzhäuten zukommen, und wenn man die wichtige Angabe in der Geschichte der Netzhautmorphologie hin und wieder bezweifelt findet, so liegt dies vermuthlich daran, dass die bescheidene Darstellung des grossen Histologen sich über diesen Punkt nicht absolut genug ausspricht, bei Manchen vielleicht daran, dass sie die Bemerkung, das Eulenauge führe niemals rothe, höchstens blassgelbe Kugeln, nicht mit der Erwähnung des auffallenden Roth

Digitized by Google

an den Stäbchen, das früher unverstanden bleiben musste, zu reimen vermochten. Im Augenblicke ist gerade die letztere, bei *Schultze* ganz unbefangen erzählte Thatsache, von besonderem Werthe, und ich habe keinen Augenblick gezweifelt, dass sie richtig sei und eine weitere fundamentale Differenz in der Beschaffenheit der Netzhaut von Tag- und Nachtvögeln bezeichne.

In den Besitz einer lebenden Eule (Strix passerina s. Athene noctua *Retzius*) gelangt, bin ich in der Lage *Schultze*'s Fund (Archiv f. mikr. Anat. II.) zu bestätigen. Das Thier wurde mir höchst lebenskräftig Morgens gebracht und verweilte bis zur Decapitation 4 Stunden im Dunkeln. Beim Eröffnen des Auges blieb die Netzhaut pigmentlos am Glaskörper hängen, so dass sie unverletzt vom Sehnerveneintritte abzuschneiden war. Sie zeigte im Natronlichte starke Absorption und sah darin ganz grau aus, was von der ausserordentlich intensiven, etwas ins Bläuliche spielenden Purpurfarbe herrührte, die sich über ihre ganze Rückfläche gleichmässig verbreitete. Ebenso wie *M. Schultze* fand ich die Stäbchen länger als bei allen andern Wirbelthieren und nicht sehr schmal. Zwischen den Stäbchen waren an vielen Stellen Zapfen, mit zarteren, weniger glänzenden, nicht kurz zu nennenden Aussengliedern erkennbar, die freilich höchstens $^1/_4$ der Stäbchenlänge erreichten. Der glänzende Körper an der Grenze der Innenglieder war ungefärbt. Im Lichte blich der Purpur nicht schneller aus, als bei andern Thieren, wobei er in Orange von ziemlicher Haltbarkeit überging, das hier, wie überall nur an den Stäbchen haftete. Wenn *M. Schultze* äusserte, die Eule habe nur weniger intensiv pigmentirte, gelbe Zapfenkugeln und ihr nur die rothen ganz abspricht, so meine ich, dass er sich die Einschränkung angesichts des Orange der ganzen Netzhaut, das ihm nicht entgangen sein konnte, da auferlegte, wo er sich allgemeiner über den Gegenstand ausspricht. Seine Angaben und Abbildungen über Strix aluco und Strix noctua sind jedoch zu positiv, als dass

Digitized by Google

ich nicht eine Abweichung von den meinigen darin erkennen müsste, denn ich habe an den fraglichen Kugeln der einen Species, wie gesagt, gar keine gelbliche Färbung zu erkennen vermocht; sobald das Orange verblichen war, was in etwa 45 Minuten bei mangelhafter Nachmittagsbeleuchtung geschah, erschien nicht nur die ganze Netzhaut dem blossen Auge farblos, sondern die Kugeln liessen auch jetzt, da man sie ohne farbige Umgebung sah, keine gelbliche Färbung zum Vorschein kommen. Im schwarzen Pigmentepithel, dessen Zellen an der Stäbchenseite mit einem Schopfe ausserordentlich langer Fortsätze versehen sind, fand ich ebenfalls keine durchsichtige Pigmentkugeln.

Bei einer andern Eule, Aluco stridua (Syrnium aluco Linné) fand ich die Netzhaut, welche ebenfalls mit dem Glaskörper pigmentfrei ausschlüpfte und hart am Pecten abriss, mit etwas weniger langen, feinen Stäbchen versehen und entsprechend schwächer, auch weniger gleichmässig in der Purpurfarbe. Die letztere zeigte sich trotzdem vorherrschend violett und ging am Lichte zunächst in blasses Chamois, nicht in Orange oder rein Gelb über, ehe sie ganz verblich. Zwischen den Stäbchen lagen ziemlich viele Zapfen, deren Mehrzahl mit farblosen oder äusserst schwach gelblichen Kügelchen versehen war, während eine kleinere Anzahl deutlich gelbe, selbst orangefarbene, sehr vereinzelt sogar röthliche Färbung besass.

In der Retina eines Thurmfalken (Tinnunculus alaudarius Brisson) fand ich nach den Erfahrungen über Abwesenheit des Purpurs bei der Taube und dem Huhn, wider Erwarten reichlich purpurfarbene Stäbchen, aber diese sammt der recht intensiven, violetten Färbung in noch auffälligerer Weise, als beim Waldkauze, streifig und fleckig angeordnet und auf die Stellen beschränkt, welche wenig Zapfen oder solche mit farblosen, bis sehr schwach gefärbten Kugeln enthielten. Wo sich rothe, gelbe und grüngelbe Kugeln führende Zapfen in einiger Menge befanden,

Digitized by Google

waren die umstehenden Stäbchen farblos. Auf die Foveae der Falkenretina konnte leider nicht zeitig genug geachtet werden, so dass ich keine Angaben über An- oder Abwesenheit des Purpurs an diesen wichtigen Stellen machen kann.

Da sich *Boll* für die Anwesenheit des Purpurs im Taubenauge entscheidet, habe ich mich bemüht, durch Erweiterung des Materials zu grösserer Sicherheit zu kommen. Meine Hoffnung, dass albinotische Lachtauben mit tief rubinrother Pupille vielleicht der störenden Pigmentkugeln entbehrten, hat sich indessen nicht erfüllt, denn ich fand deren Retina nicht verschieden von der andrer Tauben. Die Zapfen enthielten gelbe, gelbgrüne und rothe Pigmentkugeln, die Stäbchen keine erkennbare Spur von Purpur. Wie bei allen Taubennetzhäuten entstand öfter der Anschein blass-fleischrother Färbung an der Stäbchenmosaik, welche zwischen vorwiegend rubinrothen Zapfen lag, jedoch nur dann, wenn das Präparat an diesen Stellen nicht ganz glatt war und die Unveränderlichkeit dieses farbigen Schimmers selbst im Sonnenlichte, schloss die Annahme des Sehpurpurs aus.

Allem Anscheine nach tritt im Vogelauge der Purpur um so mehr zurück, je reicher die Retina an sonstigen beständigen Absorptionsmitteln für farbiges Licht ist, am wenigsten bei den Nacht- und Raubvögeln, gänzlich bei der Taube und dem Huhn.

Ausser der Eule habe ich noch eine Art nächtlicher Thiere auf Sehpurpur untersuchen können. Bei der hier häufigen Fledermaus (Rhinolophus hipposideros Bechst.) habe ich versucht die Farbe der Netzhaut festzustellen. Das Auge dieser Species ist leider so klein, dass man sich begnügen muss, es auf dem Objectträger zu zerschneiden und auseinander zu legen, was natürlich vor unwirksamem Natronlichte und bei streng im Dunkeln gehaltenen Thieren geschah, ein Verfahren, das der Leser bei allen in dieser Abhandlung erörterten Versuchen vorauszusetzen gebeten

Digitized by Google

wird, wo nicht das Gegentheil gesagt ist. Ich bin noch weiter gegangen und habe diejenigen Thiere, bei denen ich keinen Sehpurpur fand, nach langem Verweilen im Dunkeln mit verbundenem Kopfe getödtet und bei einem grade zum Präpariren ausreichenden Minimum von Licht, oder in blauem Lichte, hinter einer auf Abwesenheit von Roth, Gelb und Grün mit dem Spectrum geprüften Lösung von Kupferoxydammoniak, wo es sich kaum bequemer arbeitete, als im Dunkeln, die Präparation der Augen in grösster Eile vorgenommen, da man nicht wissen konnte, ob nicht Sehfarbstoffe vorkommen, welche weit empfindlicher oder für weniger brechbares Licht zugänglich sind, als der Sehpurpur. Trotz aller solcher Maassregeln hat es mir nicht gelingen wollen an den freilich sehr kleinen Stäbchen der Fledermaus, die bekanntlich keine Zapfen umschliessen, auch nur Andeutungen rother Färbung zu erkennen. Ich muss daher auch für den Fall an der Farblosigkeit der Stäbchen bei der untersuchten Species festhalten, dass bei andern Arten dieser grossen Ordnung, wo dieselben länger sind, wirklich Färbung erkannt werden sollte. Ohne sagen zu wollen, dass echte Stäbchen, die nicht roth sind, zum Sehen ganz untauglich seien, scheint es mir bedenklich wegen ihrer blossen Existenz bei den Fledermäusen auf ein Sehvermögen, wie wir es uns, unserm eigenen ungefähr entsprechend, vorstellen, zu schliessen, seit man aus *Spallanzani's* berühmten Versuchen, die *Brücke* mit Recht in seinen „Vorlesungen über Physiologie" (Wien 1875) vom Standpunkte heutiger Erkenntniss beleuchtet, weiss, dass diese Thiere mit zerstörten Augen an Geschicklichkeit fast nichts einbüssen. Mit demselben Rechte, mit dem man aus dem Benehmen geblendeter Fledermäuse auf einen erstaunlich feinen Tastsinn, Empfindlichkeit für Strahlung u. dergl. schliesst, kann man auch schliessen, dass sie des Sehens in einer für uns bemerkbaren Weise überhaupt nicht gewohnt und bedürftig sind. Der Unterschied ihres und unseres Gesichtes kann ungefähr so gross sein, wie der zwischen dem Ge-

Digitized by Google

ruchssinne eines Jagdhundes und dem des Menschen; dann wird es aber begreiflich, wenn man da, wo andere, aussergewöhnlich fein entwickelte Sinne schärferes Sehen entbehrlich machen, einem morphologisch noch ziemlich ausgebildeten Sehapparate begegnet, dem einer der lichtempfindlichen, chemischen Bestandtheile abgeht. Man würde heute den Fledermäusen eher nur vier Sinne zusprechen, als sechs, wie unsere Vorgänger wollten.

Ein anderer Säuger, der vorwiegend im Dunkeln lebt, der Dachs, dessen Auge man im Verhältniss zur Körper- und Kopfgrösse auch klein nennen muss, zeigte mir recht gut ausgebildete Purpurfärbung der Netzhaut. Ich erhielt das Thier lebend, setzte es drei Stunden ins Dunkle und präparirte das Auge sogleich im Natronlichte. Die Netzhaut blich schnell durch Orange und Gelb gehend am Lichte aus. Ich fand die Stäbchen sehr klein, beträchtlich kürzer und schmäler, als beim Kaninchen z. B. Der Augenhintergrund zeigte ein grosses Tapetum von nicht dreieckiger, sondern halbmondförmiger Gestalt, worin sich, dem Centrum etwa entsprechend, nahe der Grenze, aber im hellen Theile, der Opticuseintritt befand. Ausser lebhaftem Atlasglanze war an diesem Tapetum keine farbige Interferenz zu bemerken.

Unter den Fischen könnten der Aal und der Schlammpeitzger als häufige Bewohner dunklen Schlammes für Nachtthiere gelten. *M. Schultze* spricht dies hinsichtlich des Aales aus, von dessen Retina er bemerkt, dass sie nur Stäbchen, keine Zapfen enthalte. Ich habe die Netzhaut bei beiden Fischen, bei Cobitis fossilis nur schwach, beim Aal aber so intensiv purpurfarben gefunden, wie bei keinem anderen Thiere, mit Ausnahme der Eule, der sie darin noch ein wenig nachsteht. Im Lichte wurde sie oft sehr intensiv gelb, worauf *Leydig*'s Angabe über Cobitis zu beziehen sein mag, doch gibt es darin Unterschiede. So sah ich bei einem Aale, der im Dunkeln abgestorben war, den Purpur am Lichte in tiefes Orangegelb übergehen,

Digitized by Google

das erst nach 2 Tagen und dann noch nicht vollkommen ausblich, während bei einem anderen Exemplare das Gelb schwach zum Vorschein kam und nach einer Stunde bei trübem Himmel ganz verschwunden war. Da die Netzhaut des Aals als zapfenfrei keine Pigmentkugeln enthält und die Stäbchen bei bedeutender Länge ungewöhnlich purpurreich sind, ist eine gewisse Uebereinstimmung mit der Einrichtung im Eulenauge unverkennbar. Ein Exemplar von Petromyzon fluviatilis, das ich untersuchte, zeigte deutliche, wenn auch schwache Purpurfärbung der Netzhaut, die am Lichte verschwand. Das Thier kam jedoch in sehr bedenklichem Zustande in meinen Besitz, so dass ich nicht sicher bin, ob es nicht bereits todt einige Zeit am Lichte gelegen hatte.

Von ganz hervorragender Wichtigkeit ist es ohne Zweifel zu wissen, ob die Zapfen allgemein des Purpurs entbehren. Besteht doch das Sinnesepithel im gelben Fleck des Menschen überwiegend, in der fovea centralis, an der Stelle des deutlichsten Sehens, der sicher auch Farbenempfindlichkeit zukommt, ausschliesslich aus Zapfen.

Bis heute habe ich leider nur ein menschliches Augenpaar von einigermaassen brauchbarer Beschaffenheit untersuchen können. Herr Dr. *Fischer*, Assistenzarzt am Siechenhause in Pforzheim, dem ich dafür zu grossem Danke verpflichtet bin, hatte Vorsorge getroffen während der Agone, etwa $^1/_2$ Minute vor dem Tode (19. März) Schutz gegen Licht herstellen und an der Leiche eine dunkle Binde um den Kopf über die Augen legen zu lassen. So kamen die letzteren am 21. März früh auf die hiesige Anatomie, wo sie sogleich von Dr. *Ewald* unter einem Tuche exstirpirt wurden. Die Cornea war bereits sehr trübe, die Bulbi ziemlich schlaff und mit reichlichem Fett umgeben. Ich öffnete das erste Auge ringsum, etwas vor dem Aequator. Beim Ausschlüpfen des Glaskörpers kam der grössere Theil der hinteren Retinahälfte mit heraus, in weiter Ausdehnung um die Papille abgerissen. Aus

Digitized by Google

der Natronkammer ans Tageslicht gebracht, zeigte die Rückseite sehr deutliche Purpurfarbe in gleichmässiger Vertheilung, die schnell in Chamois und Gelb überging, schliesslich verschwand. Der am Orte gebliebene Netzhautrest nach Umschneidung des Sehnerveneintritts unter NaCl 0,5 pCt. hervorgebracht, hatte dieselbe Färbung und Lichtempfindlichkeit. Der gelbe Fleck war sehr deutlich erkennbar, dem Gelb kein erkennbares Roth beigemischt. Die fovea centralis war nicht gut zu erkennen, aber sicher an ihrer Stelle kein röthlicher Fleck zu sehen. Im Umkreise des gelben Fleckes erschien die Netzhaut äusserst schwach röthlich, so dass eine kaum farbige, breitere Zone die macula umgab mit diffusem Uebergange in die rötheren Theile. Ebenso verhielten sich die Dinge im andern Auge, dessen Netzhaut nach Halbirung hinter dem Aequator, bis auf den vom Locheisen um die Papille bewirkten, kleinen Ausschnitt ganz unverletzt zu Tage kam. Keiner der Netzhäute hing irgendwo Pigmentepithel an. Da die Augen etwa 48 Stunden alt waren, wird man aus dem Befunde nicht mit Sicherheit schliessen können, dass die zapfenreicheren Netzhautstellen des Menschen wenig Purpur, die ausschliesslich Zapfen führenden der macula lutea und der fovea gar keinen enthalten, so wahrscheinlich es sein mag, denn die Zapfenaussenglieder sind die vergänglichsten und ich kann nicht wissen, ob sie nicht theilweise am Epithel und der Chorioïdes hafteten, während die entsprechenden Stücke der Stäbchen an der Netzhaut blieben. Mikroskopische Untersuchung konnte darüber nicht entscheiden, weil ich die Stäbchen und vollends die Zapfen in der bekannten Weise cadaverös verändert fand. In Rücksicht auf die Farbenblindheit der peripherischen Theile der menschlichen Netzhaut war es von Interesse die Grenze des Purpurs nach vorn zu bestimmen, was an dem zweiten Auge gut gelang. Ich zog unter Salzwasser den ganzen Augeninhalt aus der Sklera und Cornea heraus, worauf sich die Netzhaut von der

Digitized by Google

Uvea und dem Pigmentepithel bis an die Ora serrata äusserst leicht, von dort bis zur Linse etwas schwerer, erst nach einigem Ziehen, ohne Einrisse trennte. Der zuletzt abgelöste Antheil blieb mit braunem Pigment besetzt, das keine andere Farbe aufkommen liess, und gewiss auch nicht verdeckte, denn der Purpur setzte mit nicht gerade diffuser Grenze rings um die Peripherie der braunen Zone mindestens um 2 mm. nach rückwärts ab. Die Augen gehörten der Leiche einer alten, corpulenten Frau an, deren Linsen gelb und ziemlich weich waren.

Meine Beobachtungen über den Sehpurpur des Menschen sind, wie man sieht, Bestätigungen derer von den Herren *Fuchs* und *Welponer* (Wiener Med. Wochenschft. d. Js. S. 221), *Schenk* und *Zuckerkandl* (Allgem. Wien. Med. Ztg., 13. März 1877), berühren aber hinsichtlich der Verbreitung des Purpurs einen bisher nicht beachteten Umstand von hervorragender Bedeutung, der mich wünschen liess, grössere Sicherheit zu erlangen. Da uns die Gelegenheit nicht wird, ganz frische Augen Hingerichteter zu untersuchen, blieb mir zur Bekämpfung der Zweifel, worin mich die Untersuchung 2 Tage alter, menschlicher Augen lassen musste, nur die Beobachtung am Affen übrig. Durch freundliche Vermittlung des Direktors des zoologischen Gartens in Hamburg, Herrn Dr. *Bolau*, dem ich für die Beschaffung vieler in dieser Arbeit verwendeter Thiere zu besonderem Danke verpflichtet bin, erhielt ich ein gutes, lebendes Exemplar von Macacus cynomolgus. Der Affe wurde nach 24stündigem Aufenthalte im Dunkeln mit Chloroform betäubt, geköpft und die Augen sofort im Natronlichte herausgenommen, unter Salzwasser weiter behandelt, wie die menschlichen Augen. An keinem der beiden Bulbi wollte es glücken, den Glaskörper gut zu entleeren und die Retina nach Umstechung der Papille von der Corioïdes zu trennen. Ich legte daher sowohl die vorderen, wie die hinteren Abschnitte in Alaun von 4 pCt. und hob die Retina erst 24 Stunden später heraus,

Digitized by Google

was nun sehr leicht gelang. Beide Netzhäute zeigten blasse Purpurfarbe mit auffälliger Abnahme im Umkreise des gelben Flecks. An dem letzteren, sowie in der fovea war garkein Roth zu erkennen. Mikroskopisch betrachtet fand sich an der einen Retina in der fovea ein sehr kleiner dreieckiger Spalt, gegen welchen die Zapfen mit ihren langen, schmalen Aussengliedern zusammenliefen, was nicht den Eindruck machte, als ob eine Anzahl Zapfen am Epithel sitzen geblieben und herausgefallen wären, sondern mehr wie ein Riss aussah. Am andern Auge war die hintere Fläche der gleichen Retinagegend ganz continuirlich und alle Schnitte, welche hier und von andern Theilen abgehoben wurden, liessen ununterbrochenen Besatz von Stäbchen- und Zapfenaussengliedern erkennen. Der Alaun erzeugt an diesen Gebilden zwar Schrumpfungen, aber man konnte noch sehr gut die Stäbchen von den Zapfen, unter den letzteren die langgestreckten der fovea unterscheiden. Um recht sicher zu gehen wurden schliesslich noch die Epithelflächen des Augengrundes stückweise abgeschabt und auf Aussenglieder untersucht. In dem zweiten Auge, mit unverletzter fovea fand sich davon nichts, im ersten tauchten einzelne, hier und da auch mehrere aneinander geklebte auf. Ich halte nach den Ergebnissen an der ersteren tadellos gehärtet zur Untersuchung gekommenen Retina für erwiesen, dass die fovea centralis und deren nächste Umgebung im Affenauge keinen Sehpurpur enthalten, während ich es für die Peripherie des gelben Fleckes unentschieden lassen muss, ob die dort und im weiteren Umkreise zwischen die Zapfen gestellten Stäbchen purpurführend sind. Beim Affen reicht der Purpur so wenig, wie beim Menschen, bis an die Ora serrata; doch fand ich die rothe Grenze ihr etwas näher und diffuser, als im Menschenauge. Wo die Stäbchen zerstreut oder zwischen bedeutender Ueberzahl von Zapfen liegen, kann begreiflicher Weise jedes intensiv gefärbt und Purpur vorhanden, aber nicht im Aussehen der Fläche erkennbar sein, wenn die Zapfen

Digitized by Google

farblos sind. Sollten die letzteren trotz der Unsichtbarkeit des Purpurs für unsere Wahrnehmung dennoch Spuren dieser Substanz enthalten, so möge man erwägen, wie gering dieselben sein müssten, wenn sie sich in dem dichten Besatze der ungemein langen Aussenglieder in der fovea dem Nachweise entziehen. — Schattirungen des Purpurs, die der verschiedenen Farbenempfindlichkeit der menschlichen Netzhaut entsprechen könnten, waren, wie schon gesagt, an jener nicht und ebensowenig an der Affennetzhaut zu erkennen.

Wer in die Lage kommt ein frisches menschliches Auge zu untersuchen wird die Abwesenheit des Purpurs an der Stelle des deutlichsten Sehens vermuthlich zur vollkommenen Sicherheit erheben können, und bestätigen, was nach meinen Beobachtungen am Menschenauge und nach dem Analogieschlusse vom Affenauge nur hohen Grad von Wahrscheinlichkeit beanspruchen darf.

Da ich bei *Leydig*, *M. Schultze* u. A. die Angabe fand, dass die Netzhaut der Schlangen nur Zapfen, keine Stäbchen und nirgends Pigmentkugeln enthalte, untersuchte ich das Auge von Tropidonotus natrix, für das ich jenes Verhalten durchaus bestätigen kann. Ich habe eine gute Anzahl solcher Netzhäute durchmustert und daran ausser einem kaum nennenswerthen gelblichen Scheine, der dem Lichte Stand hielt, keine Spur von Röthe entdecken können. Bis heute habe ich keine Netzhaut gefunden, die vollendeter als diese, die Erscheinung der *Leuwenhoek*'schen Bildchen zeigte, was ich hervorhebe, um beiläufig zu beweisen, dass es trotz der Kleinheit dieses Schlangenauges recht gut gelingt, normal ausgebreitete Netzhäute davon herzustellen und dass die Zapfen in der Richtung ihres längsten Durchmessers gut zur Ansicht zu bringen sind. Da dieselben auch so keine röthliche Färbung erkennen lassen, dürfte ihnen der Purpur ganz abzusprechen sein. Hier liegt also wieder eine Netzhaut bei zweifellos gut sehenden Thieren vor, die des Sehpurpurs und aller Sehfarbstoffe

Digitized by Google

entbehrt. Ebenso beschaffen fand ich die Netzhaut von Coronella laevis.

Weniger schlagend als bei der Schlange, obwohl hier auch unzweifelhaft, vermochte ich den Mangel an Sehpurpur bei einem andern Reptil nachzuweisen. Anguis fragilis hat die bei den Eidechsen bekannten, gelben Pigmentkugeln an der Grenze der Zapfen-Innen- und Aussenglieder neben andern ungefärbten, ähnlich glänzenden Bildungen dieser Art. Da die gelben Kugeln vielerorts weit genug auseinander stehen, kann man nicht im Zweifel sein, dass dazwischen kein Sehpurpur steckt. Ich habe an der Netzhaut lange im Dunkeln gehaltener Blindschleichen auch niemals eine andere, als die schwach gelbliche, durch Licht unveränderliche Farbe wahrnehmen können. Demnach muss ich mich dem Zweifel *Boll*'s hinsichtlich des Vorkommens der Purpurfarbe bei den Eidechsen anschliessen.

Sehr ins Auge fallend fand ich die Differenz der purpurnen Stäbchen und der ungefärbten Zapfen in der Retina des Karpfens. Die Netzhaut ist bläulich-purpurfarben, an die des Aals erinnernd, aber man sieht daran gleich mit unbewaffnetem Auge, dass die Färbung musivisch unterbrochen und darum wenig gesättigt ist, was von dem grossen Reichthume der Membran an überall farblosen Zapfen herrührt, die zwischen die rothen Stäbchen eingestreut sind.

Boll's Angabe über den Purpur der Knochenfische wird hiermit bestätigt und ich kann das Gleiche hinzufügen für die Retina eines Knorpelfisches. Freilich war die Netzhaut des mir erst 48 Stunden nach dem Tode, im Dunkelverschluss zugekommenen Haifischkopfes nur ein purpurfarbener Brei, der dem Augengrunde sogleich entschlüpfte und das prachtvolle, wie polirtes Silber glänzende Tapetum aufdeckte. Ich konnte daran jedoch die Haltbarkeit im Dunkeln, das Gelbwerden und schliesslich vollkommene Erbleichen im Lichte constatiren. An einem dieser Augen, das im Dunkeln eine Stunde geöffnet gelegen hatte, sah ich zu meiner

Digitized by Google

Ueberraschung die Retinamasse von klarer Purpurlösung umflossen, die auf einen Teller ausgegossen, gleiches Verhalten zum Lichte zeigte, wie jene. Ausser den schön irisirenden Krystallen des Tapetalepitheliums, die ich für Guaninkalk halten muss, waren in der Lösung keine farbigen, festen Theile zu sehen.

Bekanntlich besitzen die Tritonen Stäbchen mit schwach conischen Aussengliedern, in denen *M. Schultze* Uebergänge zur Form und Bedeutung der Zapfen vermuthete. Bezeichnender Weise sind diese mächtigen Gebilde immer sehr schwach roth gefärbt. Man ist darum um so mehr erstaunt, hier die geringe Färbung sehr gut an einzelnen, losgelöst umhertreibenden und auf der Seite liegenden Aussengliedern erkennen zu können. Vielleicht beruht das Missverhältniss der in der Axenrichtung betrachtet so wenig intensiven, dagegen im kürzeren Querdurchmesser, freilich nur am unteren dickeren Theile, noch so deutlich kenntlichen Färbung auf Lagerung des Purpurs an der Peripherie der Coni.

Unvergleichlich prächtig ist der Anblick der Retina von Salamandra maculosa mit ihren echten, genau cylindrischen Stäbchenaussengliedern, deren colossale Maasse den intensiveren Purpurschein, gegenüber dem der Froschretina begreiflich machen.

Schliesslich wird hier die Angabe interessiren, dass der Sehpurpur intrauterin entstehen kann, in Stäbchen, welche niemals vom Lichte beschienen wurden. Ich fand die Netzhaut eines Rindsfoetus von 65 Ctm. Länge, der an der Schnauze, auf dem Kopfe, an Schwanz und Füssen Haare hatte, recht deutlich purpurfarben, und während die Farbe am Lichte erst in Gelb überging, dann ganz verschwand, fand ich die Stäbchen als feine, kurze Pallisaden mikroskopisch erkennbar. Es stimmt dies mit *Schultze*'s Angaben, dass schon behaarte Schaafsembryonen die ersten Anlagen der Stäbchenaussenglieder entwickelt zeigen und hinsichtlich des Purpurs mit den Beobachtungen von *Fuchs* und *Welponer* (l. c.) an 7—9monatlichen menschlichen Früchten. Bei einem

Digitized by Google

Rindsembryo von 44 Ctm., wo ich die Stäbchen vermisste, war keine Färbung der Netzhaut sichtbar, ebensowenig bei neugeborenen Kaninchen, wo ich *Schultze*'s vielfach missverstandenen Fund, dass die Aussenglieder kaum entwickelt sind, bestätigen konnte.

Wenn ich bisher die rothe Netzhautfärbung ganz allgemein als Sehpurpur bezeichnete, so sollte damit gesagt sein, dass sie von einem besonderen, den Stäbchenaussengliedern eigenthümlichen Stoffe, einer Substanz, d. h. einem oder mehreren farbigen chemischen Körpern herrühre. Man konnte daran kaum zweifeln, seit ich gezeigt hatte, wie unabhängig die Stäbchenfarbe von zahlreichen Structurveränderungen des Substrates ist. Was die Farbe der Netzhaut ändert oder aufhebt, muss den Farbstoff, den Sehpurpur selbst angreifen oder zersetzen. In der vorangehenden Abhandlung habe ich eine Reihe solcher Eingriffe aufgezählt, mehr in der Absicht, zu zeigen, dass die Farbe unabhängig von der Structur sei, und dass ihr Wandel durch Licht nicht auf einer Structuränderung der Stäbchen beruhen könne, als mit dem Wunsche die Reactionen des Sehpurpurs festzustellen. Man wird aus den weiter mitzutheilenden Versuchen noch manche Angaben bezüglich der letzteren entnehmen können, so dass ich hier nicht besonders darüber zu berichten brauche.

Obwohl das bekannte thatsächliche Material keinen Anlass zu der Vermuthung gibt, dass das Licht sichtbare Aenderungen des Baues der Stäbchen und andrer Retinatheile erzeuge, habe ich die Gelegenheit, welche die Betrachtung der Farbe so vieler Dunkelpräparate mit sich brachte, nicht unbenutzt gelassen, um gleichzeitig die viel beschriebenen Gestaltsänderungen der Stäbchen hinsichtlich der Mitbetheiligung des Lichtes zu beachten. Ich kann jedoch nur berichten, dass die bekannten Trübungen, Streifenbildungen und das Auftreten mehr oder minder deutlichen Atlasglanzes Veränderungen sind, die an der herausgenommenen

Digitized by Google

Netzhaut in gleicher Zeit so gut im Dunkeln, wie im Lichte erfolgen und vermuthlich durch osmotische Vorgänge, Spannungsdifferenzen, Gerinnungen und dergleichen entstehen. An der Farbe vermag dies Alles nur insofern etwas zu ändern, als trübe Netzhäute sie weniger gesättigt zeigen und dabei ist hauptsächlich auf den Umstand Gewicht zu legen, dass sich dies schon ereignet zur Zeit der Abnahme des Glanzes und der Lichtbrechung in den Aussengliedern, die das erste Anzeichen des von *M. Schultze* so sorgfältig untersuchten Plättchenzerfalles sind. An der vollkommen frischen Retina ist es ganz unmöglich Andeutungen von Querstreifen der Stäbchen, die den Plättchen entsprächen, zu sehen, etwas, das man in Hinsicht auf die *Zenker*'sche Theorie der Erzeugung stehender Wellen durch die einfallenden und an den Plättchen reflectirten Strahlen betonen muss. Ich bin zwar nicht der Meinung, die Plättchen praeexistirten nicht, denn ihr Auftreten bei so mannigfachen, gut zu übersehenden, chemischen Einwirkungen weist den Gedanken an reine Kunstproducte zurück, aber die Plättchensäule verhält sich im Leben nicht, wie der Plattensatz, dessen *Zenker's* Theorie bedarf, sondern wie einer, der aus Glasplatten mit Balsam zusammengekittet ist, im Tode, wie wenn man den letzteren in Alhohol erweicht und aufgeblättert hätte. Was nach der Leichenzersetzung zum Plattensatze wird, scheint sich zuvor mehr wie ein Glasstab verhalten zu haben. Dennoch scheint das lebende Stäbchen nicht aus relativ dicken Plättchen mit minimaler Zwischensubstanz, sondern aus abwechselnden, etwa gleich dicken und gleich lichtbrechenden, chemisch aber ganz verschiedenen Schichten aufgebaut zu sein. *M. Schultze's* schöne Untersuchungen lehren für die Sehstäbe der Krebse, dass dort mächtige Lagen purpurner, mit eben solchen farbloser Substanz abwechseln, von sehr verschiedenem, in den farbigen überwiegendem Quellungsvermögen.

Wohl zu unterscheiden von der eben genannten, nur für die

Digitized by Google

isolirte, epithelfreie Netzhaut geltenden Indifferenz der Stäbchenstructur gegen Licht, sind die sehr auffälligen Veränderungen der Letzteren, sowie viele andere, nicht allein den Purpur betreffende Vorgänge, welche sich nach der Belichtung im Auge und am Lebenden nachweisen lassen. Da hier jedoch in der Regeneration mindestens noch ein wichtiger Factor mitwirkt, verzichte ich einstweilen auf eingehendere Mittheilungen über den Gegenstand.

Die Reactionen, welche ich an der Retina untersuchte und jetzt beschreiben will, hatten den Zweck, Lösungsmittel für die Stäbchen oder Antheile derselben herauszubringen, um damit zur Darstellung des Sehpurpurs zu gelangen. Wie viele gute Gründe für die Existenz dieses Körpers sich bereits ergeben hatten, so habe ich mir von Anfang an sagen müssen, dass er in der Luft schwebe, bis man ihn nicht in Lösung oder in fester Form frei von allen geformten Resten des Substrates in der Hand hätte. Dazu konnte ich natürlich nur solche Dinge brauchen, von denen ich in Erfahrung gebracht hatte, dass sie die Farbe im Dunkeln nicht zerstören und es blieb darum vielerlei ausgeschlossen, so ätzende Alkalien, concentrirte Säuren, selbst die verdünntesten Mineralsäuren (HCl), Alkohol.

Frühere Verdauungsversuche (vergl. d. Verhandl. Bd. 1 Hft. 5) mit der Netzhaut hatten mir und *A. Ewald* gezeigt, was seither Dr. *Kuhnt* bei eingehendem Studium verdauter Retinaschnitte im hiesigen Institute vielfach bestätigte, dass alle Stäbchenaussenglieder etwas hinterlassen, vermuthlich eine Hülle, das wegen seiner vollkommenen Unverdaulichkeit in Trypsin, wie in Pepsin-Säure und wegen seines Widerstandes gegen ätzende Alkalien für Neurokeratin zu halten ist, ferner eine in der Verdauung zwar sehr zusammengehende, aber durch Fettglanz kenntlich bleibende Materie, die nur in kochendem Alkohol und in Benzol, nicht in Aether und kaltem Alkohol löslich ist. Das letztere stimmt mit dem Verhalten des Nervenmarkes, das *M. Schultze* den Stäbchen

Digitized by Google

zuschrieb, überein und rührt dort vom Cerebrin her. Wie man von *M. Schultze* und *Rudneff* weiss, färben sich die Aussenglieder, ähnlich wie Nervenmark, rasch mit OsO_4 dunkel, doch ist hervorzuheben, dass sie nie die eigenthümlich stahlfarbene bis blauschwarze Nuance markhaltiger Nerven annehmen.

Wenn der Sehpurpur an Cerebrin haftete, so meinte ich ihn mit Benzol davon befreien zu können, allein getrocknete oder feuchte Netzhäute des Frosches und vom Rinde, erst vielfach mit Aether, dann mit Benzol extrahirt, gaben nie gefärbte Filtrate, obwohl der Purpur sich nicht verfärbte. Mit Essigsäure oder Salicylsäure, auch Ammoniak enthaltendem Aether wollte gleichfalls kein Purpur in Lösung gehen, ebensowenig mit ätherischen Fettlösungen oder fetthaltigem Benzol. Erwärmen bis 50° C. (das den Purpur nicht zerstört) in reinem Oliven- oder Mandelöl, nachdem die Netzhäute zuvor durch wiederholtes Behandeln mit Aether zum Annehmen des Fettes gebracht worden, war auch ohne Wirkung; ebenso Digeriren mit NH_3, Glycerin, Nelkenöl, Terpenthin, Extrahiren mit Chloroform, Schwefelkohlenstoff u. s. w.

Aus *Rollett's* wichtigen Beobachtungen über das Gefrieren der Blutkörperchen war ein Verfahren der Trennung des Hämoglobins, also eines Farbstoffes, von einem Substrate, das wegen seines Lecithin- und Cerebringehaltes wohl dem Nervenmarke und der Stäbchengrundlage vergleichbar schien, bekannt, welches auf die Isolirung des Sehpurpurs zu führen versprach. Ich liess ein Dutzend frischer Netzhäute vom Frosche im Dunkeln in einer Platinschale sofort bei $-13°$ C. anfrieren, thaute sie viermal, nach erneuetem Frieren wieder auf und besah eine davon mit dem Mikroskop. Die Stäbchen waren stark verändert, etwas verdickt, ums Doppelte verlängert und so zierlich in Plättchen zerfallen, wie ich es selten gesehen hatte. Indem ich eine neue Netzhaut gleich unter dem Deckglase der feuchten Kammer rasch anfrieren und unter dem Mikroskope bei Immersion des Objectivs in einen Glycerintropfen

Digitized by Google

thauen liess, sah ich, dass die Veränderung ziemlich plötzlich auftritt und wenn ich das Präparat verschob und drückte, klebten die Stäbchen zu schön durchsichtig rothen Klumpen zusammen. Als ich indess meine 11 Netzhäute in der Platinschale, die im Thauen einige Tropfen Feuchtigkeit gezogen hatten, noch mit wenigen Tropfen halbprocentigem NaCl zusammenfrieren und abermals thauen liess, erhielt ich von dem Ganzen durch ein Miniaturfilter ein völlig farbloses Filtrat. Beiläufig mag hier bemerkt werden, dass sowohl die Flüssigkeit, wie der Netzhautklumpen auf dem Filter deutlich alkalisch reagirten und dass der letztere nach dem Ausbleichen im Lichte keine Aenderung seines Verhaltens gegen empfindliches Lakmuspapier zeigte. Da die Stäbchen hier hergegeben haben mussten, was sie Flüssiges enthielten, so ist die Beobachtung eine bestätigende Erweiterung der obigen Angaben (vergl. S. 22) über die Unveränderlichkeit der Retina-Alkalescenz nach Erregung durch Licht.

Ungeachtet des ersten schlechten Erfolges, habe ich weitere, auf die Analogie des chemischen Baues und Verhaltens der rothen Blutkörperchen und des Nervenmarkes mit den rothen Stäbchen, berechnete Versuche vorgenommen, und ich habe sie nicht zu bereuen. Wie die Galle ein Mittel ist zur Lösung der Blutkörperchen, ist sie es auch für das Nervenmark (vergl. *A. Ewald* und *W. Kühne* l. c.) und selbst für frische Axencylinder. Galle löst bekanntlich Lecithin auf und enthält diesen Körper gewöhnlich von vornherein; ebenso löst sie, besonders bei schwachem Erwärmen, wie ich mich überzeugte, das so schwer lösliche Cerebrin. Wie sie aber auf die Stäbchen der Retina wirkt, das muss man sich ansehen, um es nicht wieder zu vergessen. Eine frische Froschretina gegen einen Tropfen Galle ans Deckglas gelegt, kommt sofort in eine sonderbare Bewegung: am Rande schiessen die Stäbchen wie Raketen heraus und wo die Galle an frei bewegliche, abgestossene Augenglie-

Digitized by Google

der dringt, sieht man diese sich mit einem Rucke plötzlich wie Würmer krümmen, wieder grade richten, in die Länge schiessen, wobei für einen Augenblick erst Längsstreifen, dann die ganze Säule der auseinander fahrenden Plättchen sichtbar werden, endlich gänzlich verschwinden. Es ist oft, wie wenn Geldrollen aus einem Rohre geschossen würden oder einer Kartätsche vergleichbar. Falls der Galletropfen zu klein war, bleiben manche Stäbchen lange unverändert und man hat Gelegenheit, den Vorgang an einzelnen allmählich ablaufen zu sehen. Derselbe kann an einem oder an beiden Enden zugleich, auch in der Mitte beginnen und es geht dem Zerfalle eine schwer zu beschreibende Aenderung in der Lichtbrechung an der betreffenden Stelle voraus. Zuweilen wird in der Axe ein ziemlich dicker, oft mit Anschwellungen versehener Canal sichtbar, auf dem nicht Plättchen, sondern Ringe stecken und da diese wieder in der Richtung des Radius einreissen und Längsstreifen auftreten, so kann man sich wohl eine Structur der Stäbchen vorstellen, wie sie *Hensen* (Virchow's Archiv, Bd. 39, Taf. XII, Fig. 8) zeichnet. Es versteht sich von selbst, dass zu diesen Beobachtungen gereinigte Galle, d. h. die wässrige Lösung krystallisirter, farbloser Rindsgalle zu nehmen ist. Ich empfehle, die Lösung unter Aether aufzubewahren und sie nicht aus trocken conservirten Cholatpräparaten herzustellen, denn es ist mir wiederholt begegnet, so Flüssigkeiten zu erhalten, die trotz richtiger alkalischer Reaction weder Blutkörperchen noch Nervenmark ordentlich auflösten.

Die wichtigste Wirkung der Galle auf die Netzhaut besteht nun in der Lösung des Sehpurpurs und man würde damit bald ans Ziel der Wünsche gelangen, wenn nicht die Stäbchen abgestorbener Säugethieraugen gegen das Mittel widerstandsfähig würden. Die Netzhaut noch warmer Kaninchen- und Rindsaugen gibt zwar den Purpur leicht an Galle ab; als ich aber etwa 30 unter NaCl von 0,5 pCt. sauber herausgenommene, rothe Och-

Digitized by Google

sennetzhäute, die nur wenige Stunden alt waren, in das Lösungsmittel gethan hatte, musste ich dem Aussehen nach den Purpur wohl für gelöst halten, aber ich erhielt ein kaum gefärbtes Filtrat, das laut Aussage des Spectrums ein wenig Hämoglobin enthielt und am Lichte unveränderlich war. Dem entsprechend sieht man an 24 Stunden feucht erhaltenen Netzhäuten des Frosches die beschriebenen, man möchte sagen, explosiven Wirkungen der Galle nicht, sondern nur einen langsamen Zerfall, freilich mit kaum verschiedenem Enderfolge. Dabei scheint sich aber keine wahre Lösung der Stäbchenmaterien, auf die es ankommt, zu bilden, sondern eine stark gequollene Masse, welche übrigens Filter nicht zu verstopfen pflegt. Ich muss auch bemerken, dass man die frischen Stäbchen, wie sehr es den entgegengesetzten Anschein haben mag, niemals vollkommen mit Galle in Lösung bringt, sondern dass sich immer noch auf sie zu beziehende Reste, vermuthlich zum Theil aus Neurokeratin bestehend, vorfinden, wenn man das Präparat nachträglich mit Wasser verdünnt. Sehr vollkommen und plötzlich werden durch Galle die Zellen des Retinaepithels, im frischen, wie im abgestorbenen Zustande gelöst, deren dunkle Pigmentkörnchen nach allen Richtungen auseinander stieben, beim Frosche mit Hinterlassung der bekannten gelben, glänzenden Tropfen.

Genauere Studien über den Sehpurpur wird man zwar erst beginnen können, wenn ein neues Verfahren der Darstellung aus todten Netzhäuten gefunden sein wird, oder wo man es erreichen kann, in der Nähe eines Schlachthofes die Verarbeitung vieler noch warmer Netzhäute in einer Gelbkammer vorzunehmen. Ochsennetzhäute werden freilich immer den Uebelstand einschliessen, dass etwas Hämoglobin mit dem Sehpurpur in Lösung geht, weil die Gefässe constant Blut zurückhalten. Dies hat mich allerdings nicht verhindert bei den wenigen Ochsenaugen, die mir noch warm gebracht wurden, den Versuch zu machen, und

Digitized by Google

einige Cub.-Cent. guter, klar filtrirter Purpurlösung zu gewinnen, ich fand es aber doch misslich, dass sie am Lichte nicht vollkommen ausblichen und konnte z. B. nicht entscheiden, ob die immer mehr ins Reinrothe gehende Netzhautfärbung, welche erheblich gegen das rechte Purpurroth, zuweilen bläuliche Roth des Kaninchens und des Frosches absticht, diesem Purpur auch in Lösung zukomme. Vollends muss bei Absorptions- und Bleichungsversuchen im farbigen Lichte das Hämoglobin stören. Ich habe mich daher vorläufig mit Versuchen begnügen müssen, welche mit dem spärlichen und sehr mühsam zu beschaffenden Materiale anzustellen waren, das ich mir aus Kaninchen- und Froschaugen bereitete.

Bevor ich darüber berichte, wird die Mittheilung einiger Versuche, die ich inzwischen mit abgestorbenen Ochsennetzhäuten zur Auffindung anderer Darstellungsmethoden des Sehpurpurs anstellte, passend sein, nicht weil sie schon zu jenem Ziele geführt hätten, sondern weil sie über das Verhalten der merkwürdigen, uns beschäftigenden Substanz weitere Aufschlüsse geben.

Es ist nämlich möglich aus der Netzhaut einen unlöslichen Rest zu bekommen, der nur aus Neurokeratin und Sehpurpur besteht. Zu dem Ende extrahirt man die todten Membranen des Ochsen zuerst mit gereinigter Galle, wäscht mit Wasser aus, hierauf mit Essigsäure von $^1/_2$ pCt., die auf dem Filter durch Waschen mit Wasser möglichst wieder beseitigt wird. Weiter wird der Filterrückstand mit wirksamster Trypsinlösung von 1 p. M. Salicylsäuregehalt bei 40° C. 24 Stunden verdaut[1]), wieder auf ein Filter gespült und ausgewaschen, auf einer Glasplatte ausgebreitet, bei 40° C. getrocknet, mit Aether und mit Benzol extrahirt, das Benzol abdunsten gelassen, mit Wasser befeuchtet

[1]) Da die Salicylsäure für sich oder mit Salzen gemischt den Purpur entfärbt, dürfen die Netzhäute nur mit der vorher fertig gestellten obigen Mischung behandelt werden.

Digitized by Google

und mit concentrirtem Ammoniak ausgelaugt, dessen letzte Reste man durch Abdunsten und Auswaschen entfernt. Sämmtliche Proceduren sind natürlich im Dunkeln, wo man etwas zu sehen braucht, im Natronlichte vorzunehmen. Was darnach von der Retina zurückbleibt, ist frei von Fetten, Lecithin, Cerebrin, enthält keine Albumine oder Nukleïne, kein Mucin, endlich kein Collagen, weil Trypsin das letztere nach vorgängiger Behandlung mit verdünnter Essigsäure in salicylsaurer Lösung leicht auflöst: es stellt das Neurokeratin des retinalen Nerven- und Epithelapparats dar, an dem der Purpur haftet. Die Farbe dieser Masse ist tief orangeroth und wandelt sich im Lichte in kurzer Frist, bei direktem Sonnenschein in weniger als einer Minute, in farbloses Grau um. Gehörig über Schwefelsäure getrocknet ist sie kaum veränderlich am Lichte, erbleicht aber von Neuem befeuchtet rasch. Man sieht hieraus, wie widerstandsfähig der Sehpurpur ist, wie dieser Körper, dessen Lichtempfindlichkeit vermuthlich die aller bis jetzt bekannten photochemisch zersetzlichen Stoffe übertrifft, Angriffen trotzt, welchen die meisten Bestandtheile der Organismen und viele andere Stoffe erliegen.

Noch mehr: es ist bekannt, dass Vieles, was der Trypsinverdauung widersteht, durch Fäulniss zersetzlich ist; als ich sehen wollte, ob der Sehpurpur alkalischer Trypsinlösung weiche, was er nicht thut, gingen die Mischungen, wie gewöhnlich, nach 5—6 Stunden in Fäulniss über und der Purpur blieb. Ich habe den stinkenden Bacterienbrei darauf wochenlang im Werke erhalten, wobei sich neben dem Purpur etwas schwärzliche Materie absetzte, aber der Purpur war immer noch kenntlich und wenn man etwas von der widerlichen Masse auf einem Teller ausstrich, erblich das Orangeroth am Lichte.

Hinsichtlich der Beschaffung des Materials für derartige Versuche, zu welchen ich etwa je 30 Augen zu nehmen pflege, mag hier im Interesse der Nachuntersuchung erwähnt werden, dass

Digitized by Google

wir im hiesigen Schlachthause keine Schwierigkeiten finden, die Ochsen mit schwarzen Binden um die Augen versehen zu lassen, bevor andre Vorbereitungen zum Schlachten getroffen sind. Das Herausnehmen der Augen geschieht, mit möglichster Abhaltung des Lichtes, unter einem undurchsichtigen Tuche, worauf sie in einem tiefen, bedeckten Topfe ins Laboratorium getragen werden. Mit dem Beistande eines zuverlässigen Dieners ist mir bis heute noch keine ausgebliebene Ochsenretina unter die Hand gekommen. Um endlich die Netzhaut mit geringstem Verluste zu erhalten, empfehle ich, die Augen äquatorial zu theilen, den Glaskörper mit einem Stosse aus der hintern Hälfte herausfallen zu lassen, mit einem passenden Locheisen, während das Auge auf dem Tische ruht, von innen auf die Papille zu drücken, wobei die Retina im Umkreise des Sehnerveneintrittes einen Cirkelschnitt erhält und sie zuletzt unter NaCl von 0,5 pCt. mit möglichst feinen Hakenpincetten abzuziehen. Dabei hat man am Rande einer auf dem Tapetum liegenden Stelle zu beginnen und sich vor Einrissen zu hüten, denn wenn die Membran erst in Unordnung gerathen ist, gleitet sie unvermeidlich hie und da über die Pincetten, und die Stäbchen fliessen abgestreift als trüber Brei davon. Ein Versuch, nur die Stäbchen durch Schütteln der Netzhäute mit dünner Salzlösung zu erhalten, scheiterte an der Unfiltrirbarkeit der Masse, die sich auch nicht wieder absetzen wollte.

Ich habe schon gesagt, die Netzhaut der Frösche und Kaninchen verdiene vor der des Ochsen den Vorzug, wo es auf reinen Sehpurpur abgesehen ist. Beim Kaninchen beschränken sich die Blutgefässe bekanntlich auf den Streifen markhaltiger Nervenfasern, der zu beiden Seiten von der Papille abbiegt; man schneidet die im Uebrigen, wie beim Ochsen unter Salzlösung und nach Durchbohrung ihrer Haftstelle mit einem kleinen Locheisen abzuziehende Netzhaut jederseits von jenem Streifen ab. Die Membran zerreisst indess so leicht, dass es immer ein ängst-

Digitized by Google

liches Geschäft bleibt, sie leidlich herauszubringen. Beim Frosche nehme ich, durch viel Zeitverlust und unnöthige Mühe mit dem winzigen Objecte belehrt, was zugleich die Ausführlichkeit der Mittheilung entschuldigen muss, die Augen und die Netzhaut in folgender Weise heraus: Der Frosch wird nicht zu hoch decapitirt, die Nackenhaut mit einem Tuche gefasst und nach vorn über die Nase hin abgezogen, der Schädel hart hinter den Augen quer abgeschnitten, jederseits unter den Augen der Oberkiefer fortgenommen und der kleine Kopfrest mehr von den Augen, als diese von jenem entfernt. Dann nehme ich das Auge zwischen die Finger, beseitige die Muskeln und knipse mit einer flach gebogenen Scheere, die gut schneiden muss, den Opticus ab, während das Auge derart gedrückt wird, dass sich der Sehnerv etwas nach hinten herauspresst. Man muss es beim Sehnervenschnitte fühlen, dass man den Widerstand der Sklera rasch überwindet, wenn das Auge hinten das unumgänglich nöthige, sehr kleine Loch haben soll, ohne welches die Netzhaut niemals mit einem Zuge glatt herauszubringen ist. Zuletzt wird der Bulbus halbirt und die Retina entleert. Netzhäute, denen Pigment anhaftet, verwerfe man, da es selten möglich ist, die fein vertheilten, schwarzen Körnchen durch das Filter von der Lösung des Sehpurpurs fern zu halten. Wie es scheint, löst sich das zierliche Gefässnetz, das der vorderen Fläche der Froschnetzhaut aufliegt, bei den genannten Präparationen meist ab, oder entblutet, denn ich habe niemals Hämoglobin in den so gewonnenen Purpurlösungen finden können. Um diese letzteren zu erhalten, pflege ich auf 20 Froschnetzhäute 0,5 bis höchstens 1 Cub.-Cent. Cholatlösung, von etwa 5 p. Ct. zu nehmen. Jede Netzhaut kommt sofort hinein, ehe eine neue präparirt wird, und verweilt darin 24 Stunden. Als Gefäss dient ein sehr kleines, kaum 1,5 Cub.-Cent. fassendes Probirröhrchen, worin man sich die Netzhäute langsam senken lässt, ohne zu schütteln. Dem Ansehen nach hat der Purpur in Galle gelöst

Digitized by Google

geringe Diffusionsgeschwindigkeit, denn man findet nach 24 Stunden auf den Netzhäuten meist eine sehr intensiv gefärbte Zone, mit darüberstehender farbloser Flüssigkeit. Durch langsames Neigen und Aufrichten des Gläschens sucht man darum die Farbe zu vertheilen, was am 2. Tage wiederholt vorzunehmen ist. Endlich wird filtrirt, indem zuerst die klaren, oberen Schichten mittelst feiner Pipetten, die Netzhäute zuletzt, wenn alles Klare durchgegangen ist, auf das Filter gebracht werden. So dauert es etwa 24 Stunden, bis der letzte Tropfen filtrirt ist; hat man die Masse geschüttelt, so filtrirt sie oft gar nicht. Selbstverständlich ist ein Miniaturtrichter mit ganz kleinem Filter zu nehmen. Ich habe mir die Mühe genommen nachzuweisen, dass der Filterrückstand durch Waschen mit farbloser Galle ganz zu entfärben ist, rathe aber nicht durch Auswaschen mehr Purpur darstellen zu wollen, weil mit der schwach gefärbten Spülflüssigkeit nicht viel anzufangen ist, während das roth getränkte Filter und die davon abzunehmenden, firnissartig homogen verklebten Netzhäute zu vielen wichtigen Versuchen brauchbar sind.

Die filtrirte Lösung des Sehpurpurs ist vollkommen klar und von herrlich carminrother Farbe. Anfangs glaubte ich daran etwas bläuliche Fluorescenz wahrzunehmen, doch habe ich Gründe, anzunehmen, dass in den ersten Versuchen, wo ich und Andre sie zu sehen meinten, Spuren schwarzen Epithelpigments die Erscheinung vortäuschten. Am Lichte wird die Lösung erst orange, dann gelb, endlich farblos, wie Wasser. Das eigenthümliche Chamois, das die Netzhäute im Ausbleichen zeigen, kommt in der Purpurlösung oft, aber nicht so deutlich zur Geltung. Im direkten Sonnenlichte erbleicht der gelöste Purpur momentan, in zerstreutem Tageslicht mit sehr verschiedener Geschwindigkeit, augenscheinlich der Lichtintensität entsprechend, merkwürdig langsam zuweilen des Nachmittags, wenn wir unser Auge ebenso stark, selbst mehr davon afficirt glauben, als am Morgen oder Mittags.

Digitized by Google

Dieser den Photographen sehr bekannte und nicht unverständliche Umstand macht sich übrigens auch beim Bleichen des in der Retina befindlichen Purpurs geltend.

Eingehendere chemische Reactionen mit dem Sehpurpur anzustellen, fehlte es mir bis heute an Zeit und geeignetem Material. Wer die Mühe der Darstellung des Purpurs erwägt, wird nicht überrascht sein, dass ich denselben zunächst in anderer Richtung verwendete, und wer den Nachtheil, den die Gegenwart der Gallensäuren in der Lösung für chemische Versuche mit sich bringt, bedenkt, wird sich nicht wundern, dass ich mit darauf bezüglichen Angaben zurückhalte, bis es mir gelungen sein wird, den Purpur in bequemeren Medien gelöst zu erhalten. Möge darum die Angabe genügen, dass die Purpurlösung auf Milchglasplatten bei 40° C. oder im Exsiccator concentrirt zu einem schön purpurfarbenen Firniss eintrocknet, der in vollkommen trockenem Zustande auch im direkten Sonnenlichte nur äusserst langsam etwas in Orange übergeht und so nicht eher weiter durch Licht veränderlich ist, als bis er wieder etwas Feuchtigkeit angezogen hat. Ganz so verhalten sich die Netzhäute aller Thiere, nur dauert das Trocknen derselben bis zur Haltbarkeit im Lichte bedeutend länger.

An dem Sehpurpur in Lösung war vor Allem die Absorption des Lichtes verschiedener Wellenlängen festzustellen, was bisher an den Netzhäuten mittelst der üblichen spectralanalytischen Methoden sowohl mit durchfallendem, wie im reflectirten Lichte durchaus nicht gelingen wollte. Wiederholt habe ich versucht das Absorptionsspectrum der Netzhaut durch Vorhalten von Glasplatten vor den Spalt des Spectralapparats, auf die ich sie ausbreitete, kennen zu lernen, allein entweder war die Absorption zu schwach, oder es gab so viele horizontale Schatten und Streifen im Bilde, dass nichts deutlich zu erkennen war. Man kann auch nicht einfach Ochsennetzhäute falten oder über ein-

Digitized by Google

ander schichten, ohne solche Spectralbilder zu bekommen; und dasselbe begegnete mir, wenn ich eine Säule von Froschnetzhäuten zwischen Spalt und Lichtquelle brachte. Ein Versuch die Masse durch Quellenlassen in NH_3, oder durch Einlegen in Glycerin homogener zu machen, war keine Verbesserung.

Die Lösung des Sehpurpurs, vor den Spalt des Apparats gebracht, zeigte in keiner mir verfügbar gewesenen Concentration andere, als diffuse Spectra; die Absorption beginnt schon im Gelb der D-Linien sehr schwach, nimmt bis E, besonders plötzlich im Beginn des Grün zu, dann wieder an der Grenze von Blaugrün und Blau und geht gegen das Violet hin herab. Anfänge, Uebergänge und Ende sind jedoch so ausserordentlich diffus, dass es ohne besondere photometrische Methoden nicht möglich sein dürfte, die Curve besser zu bestimmen. Aus später zu erörternden Gründen war hauptsächlich Gewicht darauf zu legen, ob bei D schon Absorption zu constatiren ist, und ob dieselbe im Violet erheblich abnimmt. Ich glaube für Beides eintreten zu müssen, für das Erstere, weil die gegen Natronlicht gehaltene Retina stark grau aussieht, wenn sie purpurroth ist und bei schwächerer Färbung graue Streifen auf hellem Grunde weist, wenn man die Stäbchen streckenweise fortgepinselt hat; ferner wegen der unzweideutigen Intensitätsschwächung der hellen D-Linie des Natriumspectrums, welche man wahrnimmt, wenn man den Spalt zur einen Hälfte mit dem Purpurgläschen, zur andern mit einem Wasser enthaltenden deckt. Unverkennbar ist der Beginn der Absorption bei Gelb auch im continuirlichen Spectrum der Gasflamme bei schwachem Lichte oder engem Spalte, ebenso bei Anwendung gehörig gedämpften Tageslichtes. Hinsichtlich des Violet liess mich die Untersuchung im Gaslichte anfänglich nicht in Zweifel: ich sah hier die Absorption verglichen mit der in der ganzen Ausdehnung des Blau, beträchtlich geringer, aber als ich das für das violette Ende vortheilhaftere Spectrum des Tageslichtes be-

Digitized by Google

nutzen wollte, wurde ich zweifelhaft und meinte ich das Gegentheil zu sehen. Der Widerspruch löst sich, wenn man erwägt, dass der Purpur im Tageslichte schnell in Orange bis Gelb umschlägt, denn das war es, was ich im Spectrum sah. Wenn man sich eilt und Tageslicht von grade ausreichender Intensität verwendet, so kann man nicht in Zweifel sein, dass die Purpurlösung anfänglich viel von dessen violetten Strahlen durchlässt; thut sie es nicht, so erkennt das Auge daran ohne weitere Hülfsmittel den Beginn des Umschlagens in Gelb und dem entspricht das spectroskopische Bild, das nun umgekehrt bedeutende Aufhellung vom Gelb bis in's Grünblau hinein, ausser der Beschattung des Violet zeigt. Dieses Verhalten scheint mir nicht unwichtig, weil es die nahe liegende und in vieler Hinsicht verführerisch zusagende Annahme erschwert, dass der Sehpurpur eine Mischung aus zwei praeexistenten Farbstoffen, einem rothgelben und einem blauvioletten etwa, darstelle. Wäre dem so, so begriffe man nicht, weshalb er im ersten Augenblicke der Belichtung so viel Violet durchlässt. Hier wird die Chemie des Sehpurpurs das entscheidende Wort zu sprechen haben.

Gegen das Ende des Ausbleichens sind es nur noch die blauen und violetten Strahlen, welche von der immer heller gelb werdenden Lösung zurückgehalten werden, um am Schlusse der Zersetzung auch wieder zum Vorschein zu kommen. Die Entfärbung ist dann vollendet. Die Lösung sieht aus wie Wasser. Ueber das Verhalten im Ultraviolet wünsche ich mich aus unten zu erörternden Gründen erst nach weiteren Untersuchungen auszusprechen.

Obwohl das Absorptionsspectrum des Sehpurpurs nicht mit den bekannten, an charakteristischen Streifen und Bändern reichen Spectralbildern vieler jetzt näher studirter Farbstoffe und farbigen Lösungen wetteifern kann, wird die Bekanntschaft damit manchen Wink vermitteln können hinsichtlich der Verwandtschaft des Purpurs zu den verschiedenen farbigen Körpern, die im Auge oder

Digitized by Google

in der Retina vorkommen. Ueberdies belegt nichts die Berechtigung seines Namens besser, als die Thatsache, dass er vornehmlich Roth, Orange und Violet reflectirt oder durchlässt, denn Mischungen aus Violet und Roth sind es ja, welche Purpur heissen und woraus wir Purpur erzeugen. Endlich wird jetzt das Folgende zeigen, dass die Absorption in tieferer Beziehung steht zur chemischen Zersetzung des Absorbenten im farbigen Lichte.

Vom Beginne dieser Untersuchung an, habe ich mir das Ziel gesteckt, über das Verhalten des Sehpurpurs im monochromatischen Lichte ins Reine zu kommen und wenn mir dieses nach 3 Monaten nicht gelungen ist, wie ich es wünschte, so muss der Himmel zum Theil die Schuld übernehmen. Eine unerhört andauernde Bedeckung der Sonne seit den ersten Januartagen liess mich zum Ersatze des Sonnenspectrums nach allen denkbaren Kunstmitteln greifen, obgleich davon nur unvollkommene Erfolge zu erwarten waren. Da indess das lebende Auge selten zu monochromatischer Belichtung kommt, werde ich auch diese Resultate, als für unser Sehen brauchbar, unten mittheilen.

Voraussichtlich war das objective Spectrum das Mittel um die Absorption des Sehpurpurs in der Retina, an dem natürlichen Platze, mit der seiner Lösung vergleichend festzustellen, etwas, das mir unumgänglich schien, schon um die Identität des Eductes und der vorgebildeten Substanz beweisen zu können. Hat man doch wesentlich auf diesem Wege zuerst nachgewiesen, dass das Hämoglobin z. B. der natürliche Farbstoff der rothen Blutkörperchen sei. Meine Erwartung, dass die Dispersion in der Membran, welche die Untersuchung beim Einschieben zwischen Lichtquelle und Prisma verhindert, im objectiven Spectrum nicht stören würde, erfüllte sich sogleich, als ich die auf Milchglas gelegte Froschnetzhaut durch ein mit *Drummond*'schem Lichte erhaltenes Spectrum schob. Die kleine, feuchte Membran, die in Folge ihrer Krümmung und Lagerung auf der Vorderfläche, dem Lichte die

Digitized by Google

convexe Seite zukehrte und in schwachem Natronlichte einem glitzernden Tropfen glich, nahm im Roth die Farbe des Grundes an, schien im Gelb getrübt und sah, vom Grün bis zum Violet bewegt, wie ein glänzender, schwarzer Nagelkopf aus, während sie im Violet deutlich heller und selbst violetglitzernd wurde. In keinem Theile dieses Spectrums war innerhalb 25 Minuten wesentliche Ausbleichung zu erreichen.

Für Versuche mit dem Sonnenspectrum wurde folgende Einrichtung getroffen. Das vom Spiegel durch den Spalt reflektirte Sonnenlicht traf auf eine achromatische *Steinheil*'sche Linse von hinreichender Apertur, die um das Doppelte ihrer Brennweite hinter den Spalt gerückt war. In halber Brennweite hinter der Linse war ein grosses *Steinheil*'sches gleichschenkliges Flintglasprisma im kleinsten Winkel der Ablenkung aufgestellt. Zum Auffangen des Spectrums am Orte des Spaltbildes dienten Milchglasstreifen, auf die ich die Netzhäute festklebte. Das Letztere gelingt trotz vertikaler Stellung der Unterlage, wenn man die mit der Retina herausgekommene Augenflüssigkeit rings herum sorgfältig absaugt. Unter den Streifen von 10—12 hart aneinander geklebten Netzhäuten wurde ein Papierstreif zum Bezeichnen der *Fraunhofer*'schen Linien und der Grenzen des sichtbaren Theiles befestigt. Bei meiner Einrichtung war das Spectrum 6 Ctm. lang, so dass die erste Retina zur Hälfte im Ultraroth, die letzte meist ganz im Ultraviolet liegen konnte. Derselbe Raum konnte mit 2 Kaninchennetzhäuten, die in Streifen geschnitten, auseinandergelegt waren, reichlich gedeckt werden. Bei einer Höhe des Spectrums von 3 Ctm. liess sich mit jedem Versuche ein zweiter verbinden, indem ein schmaler Ausschnitt beliebig zu wählender Farben durch einen zweiten Spalt oberhalb des Milchglasstreifens durchgelassen und mittelst einer dahinter passend aufgestellten Linse, durch ein zweites Prisma von neuem gebrochen wurde. So bekam ich, ähnlich wie es *Helmholtz* ausführte (vergl. Poggendorffs Ann. Bd. 94 und Physiol.

Digitized by Google

Optik. S. 264), ein zweites kurzes Spectrum von einer Farbe, dessen Enden jederseits monochromatisches Licht von grosser Reinheit, zur Wirkung auf die Retina verwendbar lieferten. Die Intensität ist hier freilich beträchtlich geringer, als im ersten Spectrum. Bei einer Weite des ersten Spaltes von 0,3—0,1 mm., die nach der am Spectrum gut zu bemerkenden Intensität des Sonnenlichtes innerhalb der genannten Grenze zu ändern ist, war die Wirkung des monochromatischen Lichtes für die Versuche genügend; den zweiten Spalt kann man nicht gut enger als 1,5 bis 1 mm. nehmen. Am ersten Spectrum wurde immer Sorge getragen, den die Netzhäute tragenden Streifen so einzustellen, dass die *Fraunhofer*'schen Linien in grosser Zahl und Schärfe auf dem Papiere (auf Milchglas sind sie schlecht zu erkennen) zu sehen waren. Die D-Linie wurde vor dem Versuche mittelst der Natronflamme hinter dem Spalte verstärkt und mit besonderer Sorgfalt notirt.

Da die Netzhäute auch bei Dunkelfröschen starke individuelle Unterschiede zeigen, ist es unerlässlich, sich vor der Wirkung des Spectrallichtes von der gleichmässigen Färbung der ganzen Netzhautreihe durch flüchtiges Betrachten im Tageslichte zu überzeugen, die zu rothen, wie die zu blassen und die zu bläulich-rothen auszuscheiden und durch andere zu ersetzen; auch muss eine Probenetzhaut bei jedem Versuche ganz ausserhalb des Spectrums zum späteren Vergleiche auf die Platte gebracht werden. Ausserdem sind nur Netzhäute mit möglichst geringen Epithel- und schwarzen Pigmentresten, die den Purpur haltbarer machen, zu nehmen, denn ich muss hier bestätigen, was in der vorstehenden Abhandlung als Vermuthung gesagt wurde, dass es wesentlich und allein das Retinaepithel ist, welches den Sehpurpur regenerirt oder die Färbung vor der Zerstörung durch Licht schützt. Netzhäute, denen keine Spur der Chorioïdes, laut Aussage des entleerten Augengrundes mit der heil gebliebenen Uvea, sondern, wie das

Digitized by Google

Mikroskop zeigt, nur das Pigmentepithel, oder nur die Fortsätze desselben anhaften, zeigen sich in der Färbung so resistent gegen Licht, wie es früher von solchen beschrieben wurde, denen dazu noch die Chorioïdes oder Stücke dieser belassen wurden. Es ist mir darum wahrscheinlich geworden, dass der Purpur der Poekilothermen z. Th. deshalb meist langsamer, als der der Homöothermen ausbleicht, weil man die Netzhaut der ersteren öfter nicht frei von überlebenden, d. h. unzersetzten Antheilen der purpurzeugenden Epithelien erhält. Die Stoffe, auf die es dabei ankommt, scheinen löslich zu sein oder abzufliessen, denn unverkennbar bilden sich rothe Zonen und Streifen im Umkreise der Epithelfetzen während des Ausbleichens, besonders nach Beschattung einer derartigen, eben ausgeblichenen Retina. Auch dürfte hierauf die sonderbare Thatsache zu beziehen sein, dass an den vertical aufgestellten Präparaten immer der untere Rand zuletzt erblasst und dass von einer Reihe sich mit den Rändern berührender, übereinander aufgeklebter Netzhäute die unterste oft viele Minuten später ausbleicht, als die oberste, vorausgesetzt, dass die Belichtung langsam genug wirkt. Von Loslösung und Abrutschen ganzer Stäbchen, was man direkt controliren kann, rührt dies nicht her, schon weil es in Fällen zu erkennen ist, wo die nach aussen dem Lichte zugewendeten Stäbchenflächen im Begriffe sind einzutrocknen. Als letzte Maassregel zur Anstellung beweiskräftiger Versuche mit dem Spectrum bleibt noch anzuführen, dass die Netzhäute gleichmässig feucht zu erhalten sind. Das Eintrocknen hat so grossen Einfluss auf die Bleichungszeit, namentlich in dem Stadium, wo es auf den Uebergang aus Orange in Gelb und Weiss ankommt, und schreitet so sehr viel rascher gegen das rothe Spectralende hin vor, dass dieser Umstand allein zu den schlimmsten Täuschungen führen kann, wo er unbeachtet bleibt. Um ihn zu verhüten, blase ich das Präparat öfter mit einem Sprühröhrchen, wie man es zum Anfrischen der Blumen braucht, an.

Digitized by Google

Von den an Froschnetzhäuten angestellten Versuchen scheint es mir zweckmässig einen der besten, mit Beachtung aller Cautelen, bei der geringsten Spaltweite und dem reinsten Sonnenlichte durchgeführten, hier ausführlich mitzutheilen.

Den 11. März, 11 Uhr Morgens, bei wolkenlosem, gesättigt blauem Himmel (Frost), werden 10 gleichmässig purpurrothe Netzhäute von Rana temporaria, sich berührend, in einer Linie in folgender Weise im Spectrum orientirt, ausgebreitet:

Nro. I a. (erste Hälfte) im Ultraroth.
„ I b. (zweite „) „ Roth.
„ II a. (erste „) „ Orange.
„ II b. (zweite „) über D hinaus bis zum Anfange von Grüngelb.
„ III . . . . . im Grüngelb und Reingrün, mitten zwischen D und E.
„ IV a. (erste „) im Blaugrün.
„ IV b. (zweite „) „ Grünblau bis F.
„ V . . . . . „ Cyan } zwischen F und G.
„ VI . . . . . „ Indig }
„ VII . . . . . „ Violet.
„ VIII a. (erste „) „ Ende des Violet bis H.
„ VIII b. (zweite „) „ Anfang des Ultraviolet.
„ IX, X . . . . . „ Ultraviolet.

Die Absorption beginnt in II b, endet vor VIII a.

11 Uhr 20 Minuten wird der Spalt verdeckt, der Netzhautstreif im Lichte eines Zündholzes betrachtet.

III ist hellchamois, II b, IV, V, VI, VII, in abnehmender Reihe ausgeblichen, also VII noch am stärksten gefärbt. I, VIII, IX, X sind mit der Probenetzhaut verglichen gar nicht abgeblasst.

11 Uhr 45 Min. zweite Besichtigung, wie früher:

III, IV, V sind so gut wie ganz erblichen, VI, VII sehr

Digitized by Google

blass, aber etwas gefärbter als die vorigen. II b merklich erblasst, I, VIII, IX, X unverändert.

12 Uhr 25 Min. — I, VIII b, IX, X noch roth, I a am intensivsten roth, I b bemerkbare Abnahme des Roth, VIII a ebenso.

12 Uhr 43 Min. — VIII a ganz ausgeblichen, I b im äussersten Viertel nach II hin ganz bleich, sonst chamois.

Der Versuch wird beendet, indem man den Streif im Dunkeln trocknen liess, um ihn möglichst ungestört durch fortschreitendes Ausbleichen, am Tageslichte genauer besehen zu können. So gewährt die Netzhautreihe folgenden Anblick:

I ist rothorange, nur der Rand gegen II hin gelb, II, III, IV, V sind sehr blassgelb, VI, VII auffallend farblos, weiss, wo sich Spuren schwarzen, diffusen Pigments darin finden, mit schwach bläulich-violettem Scheine, VIII a rosachamois, VIII b röthlichchamois, IX, X ebenso, etwas gesättigter. Selbst IX, X, I sind deutlich in der Färbung zu unterscheiden von der mit getrockneten Probenetzhaut, die noch den richtigen Purpurschein besitzt.

Von dem den Milchglasstreifen überragenden oberen Theile des Spectrums ist ein millimeterbreiter Ausschnitt im Blaugrün durch den zweiten Spalt weiter geleitet auf die zweite Linse-Prismacombination und in das zweite kurze, nur blaugrüne Spectrum sind 2 Froschnetzhäute so gelegt, dass sie zur Hälfte in den bläulicheren Rand hineingreifen. Die Belichtung beginnt 11 Uhr 5 Min. Um 11 Uhr 25 Min. sind die entsprechenden Hälften bemerkbar rothorange geworden, um 11 Uhr 45 Min. sehr deutlich erblasst, aber noch orange, um 12 Uhr 30 Min. chamois.

Nach diesen und anderen Versuchen glaube ich die Wirkung des monochromatischen Lichtes auf den Sehpurpur in folgender Weise feststellen zu müssen:

1) **Monochromatisches Licht verfärbt und bleicht den Sehpurpur wie das weisse Licht, aber beträchtlich langsamer, entsprechend der geringeren Intensität.**

Digitized by Google

2) **Von dem einfarbigen Lichte wirken mit abnehmender Geschwindigkeit: Grüngelb, Gelbgrün, Grün, Blaugrün, Grünblau, Cyan, Indig, Violet — später reines Gelb, Orange, viel später Ultraviolet und Roth. Das äusserste Roth und das Ultraviolet sind nicht ganz ohne Wirkung, die Anfänge des Ultraviolet wirksamer, als die des erkennbaren Roth.**

3) **Die Uebergangsstufen des Sehpurpurs zu *Weiss*, nämlich die Bleichungsprodukte *Orange, Chamois, Blassgelb* widerstehen dem monochromatischen Lichte am wenigsten im Indig und Violet, im Anfange des Ultraviolet länger als im Cyan bis zum Orange, am meisten im reinen Roth.**

Vielleicht noch schlagender, als auf der Netzhaut des Frosches wird man den Erfolg der spectralen Belichtung auf der des Kaninchens finden. Ich brachte unmittelbar nach dem eben berichteten Versuche die beiden in Salzwasser herausgehobenen Netzhäute eines farbigen Kaninchens, in Streifen zerlegt, ins Spectrum, indem ich darauf achtete, das intensiver gefärbte, schmale Purpurband, das sie enthalten, möglichst gleichmässig auf die Linie zu vertheilen. Die Spaltweite blieb gleich 0,1 mm. Nach 6 Minuten (12 Uhr 56 Min.) war das Stück von D—E schon ausgeblichen, um 1 Uhr bis nach G, um 1 Uhr 30 Min. im Violet und im reinen Roth noch Purpurfärbung zu erkennen, im Violet etwas intensiver; doch war hier die Membran zufällig etwas dicker aufgetragen. Um 1 Uhr 57 Min. war im Roth und Violet und im Anfange des Ultraviolet das Erblassen zu bemerken. Jetzt an's Tageslicht gebracht, erschien der letztere Abschnitt chamois, der erstere röthlich. Auch hier war bis zum Anfange des Indigo eine freilich sehr blassgelbliche Färbung zu bemerken, die deutlich abstach gegen die ganz farblose, dem Indigo und Anfange des Violet entsprechende Gegend.

Digitized by Google

Am auffälligsten und meinen ersten ohne monochromatische Strahlen des Sonnenlichtes, mit Absorptionsfarben erworbenen Erfahrungen (S. 3 u. 4) am widersprechendsten scheint mir die aus den Spectralbeobachtungen hervorgehende, hocherfreuliche Thatsache, dass dasjenige Licht, das unser Auge im Spectrum am meisten afficirt und darin das intensivste zu sein scheint, nämlich das Grüngelb auch den Sehpurpur zuerst verändert. Im Hinblicke auf die Bedeutung des Factums habe ich es nicht unterlassen, mir von diesem Theile des Spectrums, nach dem schon genannten Verfahren, ein zweites gereinigtes Partialspectrum herzustellen, und hier zeigte sich unzweideutig die stärkste Wirkung an dem Theile einer Froschnetzhaut, der dem am wenigsten grünlichen Ende zugewendet war. Die Wirkung war hier der vorhin geschilderten im blaugrünen Partialspectrum so überlegen, dass sie schon nach 16 Min. erkennbar, in 54 Min. bis zum blassesten Gelb vollendet war. Der Versuch war am 10. März zwischen 12 Uhr 30 Min. und 1 Uhr 30 Min. bei ebenfalls wolkenlosem, aber nicht völlig entschleiertem, mehr weissbläulichem Himmel angestellt worden, wo sich die geringere Intensität des Sonnenlichtes, verglichen mit der des folgenden Tages (siehe oben) an dem viel langsameren Ablaufe der Bleichung, schon im ersten Spectrum bemerkbar machte.

Wie gering der Einfluss des Roth vor Allem, dann der des Violet und Ueberviolet scheinen mag, so ist er zweifellos vorhanden und vermuthlich hinreichend, um auf die Beziehung zur Erregung unseres Lichtsinnes durch diese Farben zu deuten. Dass Theile des Blau und Violet, obwohl langsam bleichend, es um so vollständiger thun, verdient besondere Beachtung. Ich halte weitere Deductionen aus den gewonnenen Thatsachen, welche sich Jedermann in Fülle aufdrängen müssen, z. Z. für unerspriesslich und werde mich ferner bemühen, erst die weniger dankbare, aber nöthigere Arbeit des Ausfüllens thatsächlicher Lücken auf dem sich hier eröffnenden

Digitized by Google

unermesslichen Gebiete zu versuchen. Mangel an Sonnenlicht und den nöthigen, brechenden Vorrichtungen aus Quarz waren bisher das Hinderniss, eingehendere Versuche über das ultraviolette Licht, die in Hinsicht auf *Helmholtz*'s und *Setschenow*'s Beobachtungen über Fluorescenz der Netzhaut und besonders mit Rücksicht auf die von *Helmholtz* erwiesene direkte Wahrnehmbarkeit der brechbarsten Strahlen des Sonnenlichtes wünschenswerth sind, gehörig in Angriff zu nehmen. Im Vereine mit Herrn *A. Ewald*, der mich bereits bei den vorliegenden Arbeiten in aufopferndster und wirksamster Weise unterstützte, denke ich über diesen, wie über andere Abschnitte der Lehre vom Sehpurpur bald weitere thatsächliche Mittheilungen geben zu können. Inzwischen dürfte das, was die jetzigen Versuche lehren, genügen, an dem Sehpurpur die Eigenschaften finden zu lassen, die einem Körper, der das Sehen durch chemische Reizung vermittelt, zuzutrauen sind. Von unseren weiteren Beobachtungen will ich vorläufig nur erwähnen, dass wir mit fortschreitender Jahreszeit, der veränderten Sonnenstellung entsprechend, die Zeit der monochromatischen Wirkung bereits auf $^1/_3$ der angegebenen verkürzt gefunden haben und dass die für den Sehpurpur aufgestellte Zersetzungsscala sich auch für Spectra mit ganz andrer relativer Ausdehnung der Einzelfarben, als der beschriebenen, bewährte.

Ich komme zu den Erfahrungen über unreines, farbiges Licht. Nachdem sich das spectrale Gelb zu beiden Seiten der Linie D, als wirksam, wenn auch langsam thätig erwiesen, musste ich mir sagen, dass die Natronflamme nicht ganz unwirksam sein könne, obwohl ich mich bei längerem Gebrauche niemals über sie zu beklagen und sie dem Talglichte der Photographen entschieden vorzuziehen gefunden hatte. Stunden- und tagelang hatte ich mich mit Sehpurpur und Netzhäuten in der Natronkammer abgegeben, ohne je Unglück damit zu haben und doch ist es möglich, den Purpur an diesem Lichte auszubleichen. Man braucht

Digitized by Google

die Retina nur so nahe an die Flamme zu bringen, als es die Strahlung zulässt, am besten unter einem passend geneigten Spiegel oder weissem Papierblatte, um sie nach 1—2 Stunden bis auf ein blasses Gelb ausgeblichen zu finden. Dabei sind der glühende Platindraht und die Sodaperle dem Anblicke der Netzhaut, durch den Schornstein, der seitlich eingeschnitten sein muss, zu entziehen, denn es macht meist einen Unterschied von mehr als 30 Min. zu Gunsten des Bleichens, wenn das davon verbreitete Licht mitwirkt. Andres Licht der verschiedensten Brechbarkeit, das der Natronflamme bekanntlich nicht fehlt, ist unvermeidlich, so dass man aus dem positiven Ergebnisse, das nur den Vortheil hat über den Widerspruch des bisher von mir angenommenen negativen zu beruhigen, nicht sicher schliessen kann, dass es gerade das gelbe Licht sei, welches darin wirkt, so wahrscheinlich es wegen dessen überwiegender Intensität ist. Ich brauche wohl kaum zu bemerken, dass Netzhäute in gleicher Weise, wie an's Natronlicht, vor die blaubrennende *Bunsen*'sche Flamme gebracht, in 2 Stunden keine Farbenänderung erlitten.

Thallium und Indium geben, im *Bunsen*'schen Brenner verdampft, das einzige wirklich monochromatische, künstliche Licht, aber ich habe vergeblich versucht, mit diesen schönen, grünen und blauen Flammen Netzhäute bemerkbar zu ändern; das Licht ist dazu nicht intensiv genug und für stundenlange Belichtung aus Gründen, die man verschweigen darf, nicht zu beschaffen. Bei einem Versuche Thallium in Sauerstoff zu verbrennen, ergab sich, dass das merkwürdige Metall sich mit dem des eisernen Löffels, worin man es legen musste, vollständig legirte und dass es so wenig in O zu entzünden ist, wie Zink.

Meine ersten Versuche über den Einfluss von Absorptionsfarben auf den Sehpurpur liessen vermuthen, dass gemischtes Licht um so schneller die Netzhaut bleiche, je mehr brechbarere Strahlen es enthalte. Dies hat sich für eine grosse Reihe farbiger,

Digitized by Google

aber nicht einfarbiger Belichtungen bewährt. So bleicht die Froschnetzhaut ausserordentlich schnell an der blendend blauen Flamme, welche in einem mit Stickoxyd gefüllten Cylinder, der einige Tropfen Schwefelkohlenstoff enthält, zu Boden gleitet. Man muss der Flamme mit der Retina von oben nach unten folgen und den Weg an 3—4 Cylindern zurücklegen, um den Purpur zum Verschwinden zu bringen. Dieselben Dienste leistet Verbrennung des Schwefelkohlenstoffs mit Sauerstoff. Von beiden Flammen ist die ausserordentlich schnelle Wirkung auf Chlorknallgas und auf die meisten Präparate der Photographen bekannt. Wird Stickoxyd über Baumwolle geleitet, die mit Schwefelkohlenstoff getränkt ist, und entzündet, so bekommt man eine gelb umsäumte, innen blaue Flamme von weit geringerer Wirksamkeit.

Eine Froschnetzhaut an den engsten, 1 mm. weiten Theil einer *Geissler*'schen Stickstoffröhre gelegt, durch die ich die Funken eines kleinen, mit 6 *Bunsen*'schen Chromsäureelementen armirten Inductoriums schlagen liess, blich in 20 Min. zum Hellchamois aus, also in einer Zeit, die kurz zu nennen ist bei der geringen Intensität der Empfindung, welche uns dieses Licht erzeugt und die den Gedanken erregt, dass das intensive, weit ausgedehnte Ultraviolet darin von Bedeutung sei. An einer Röhre mit Fluorsilicium, die ein schön blaues Licht gibt, worin das Roth sehr schwach, Blau bei weitem am intensivsten, wenig Violet und so wenig Ultraviolet enthalten ist, dass es keine deutliche Chininfluorescenz erregt, wollte es mir nicht gelingen, Sehpurpur oder Netzhäute zu bleichen. In kürzester Frist, in 10 Min. blich dagegen die Netzhaut zu blassem Violet, in 20 Min. bis zur Farblosigkeit aus, vor dem Lichte einer Fluorborröhre. Hier sind zwar alle Farben mit Ausnahme des Blau stark vertreten, aber Violet und Ultraviolet scheinen die intensivsten zu sein und dürften die weissliche Lavendelfarbe bedingen, die man daran sieht. Liess ich das Licht durch eine Schicht Kupferoxydammoniak gehen, die

Digitized by Google

ich im *Hermann*'schen Hämoskop so lange verstärkte, bis alles vom rothen Ende des Spectrums mit Einschluss des Grünblau absorbirt wurde, so blich die Retina nicht mehr darin aus, obwohl daneben gehaltenes Chininpapier noch deutlich fluorescirte. Ebenso negativ, in Folge des unvermeidlichen Verlustes an Intensität der noch durchgelassenen Strahlen, fiel der Versuch aus, wenn die Kupferlösung vor die Stickstoffröhre gebracht wurde.

Andres farbiges Licht habe ich mir durch absorbirende Lösungen hergestellt, von welchen zwar Diejenigen nicht viel werden wissen wollen, die unter günstigerer Sonne leben, als wir. Mir waren sie bis jetzt, als einziges Mittel Augen und Netzhäute länger in farbiger Beleuchtung zu halten, unentbehrlich und ich habe deshalb alle Mühe aufgewendet, gute durchsichtige Farben herzustellen. Auf gefärbte Gläser wurde wegen der geringeren Auswahl und in Rücksicht auf die Schwierigkeit der Abstufung ganz verzichtet. Violet ohne Blau war auf diesem Wege freilich nicht zu bekommen, denn ich fand kein sog. Violet, das nicht richtiger den Namen Purpur verdient hätte, also Roth durchliess; Roth, Grün und Blau-Violet aber liessen sich von leidlicher Reinheit herstellen: Roth aus Mischungen von Carminsäure (vergl. Rollett, Unters. a. d. Inst. zu Graz. Heft 2, S. 158) und Pikrinsäure (nicht sog. Pikrocarmin), Blau-Violet mit Kupferoxydammoniak, Grün mit Kupfervitriol und Pikrinsäure. Als Lichtquelle wurde zunächst nicht das ausserordentlich schwankende Tageslicht, sondern die auf constantere Helligkeit einzustellende Gasflamme eines Argandbrenners benutzt. Dieselbe war in eine Laterne aus geschwärztem Blech eingeschlossen, welche radiär gerichtete Kammern enthielt, worin die Gläser mit den Lösungen Platz fanden. Sehr zweckmässig fand ich dazu die eckigen Gefässe mit quadratischer Basis von 10 Ctm. Seite, deren man sich in den Hausbatterien für elektrische Schellen bedient. Die Concentration der Lösungen war so ausprobirt, dass man mit dem gegen den

Digitized by Google

hellsten Theil der Flamme gerichteten Spectroskope das Spectrum soweit, wie wünschenswerth eingeengt fand, beim Roth, wo die Sache keine Umstände macht, bis zum Orange, beim Grün und Blau, wo Farbentäuschungen an den Rändern auftreten, für das erstere, bis einerseits kein Gelb (der Rand erscheint röthlich), andrerseits kein Blau, dessen Rand in's Blaugrün schlägt, gesehen wurde, für das letztere, bis an einem Ende kein Grün, dessen Grenze wieder fälschlich roth wahrgenommen wird, am andern so lange, als das etwas geschwächte Violet noch zu erkennen war. Die Laterne enthielt natürlich, wo sie grünes Licht geben sollte, zwei hintereinander gestellte Gläser, da man Kupfersulfat nicht mit Pikrinsäure mischen kann. Nach aussen waren die Gläser lichtdicht abgeschlossen, bis auf einen Ausschnitt von 6 Ctm. Breite und 10 Ctm. Höhe, vor welchen die Präparate, oder kleine Behälter für lebende Thiere geschoben wurden. Isolirte, feucht erhaltene Netzhäute verhielten sich hier im Wesentlichen so, wie es in meiner ersten Mittheilung (S. 4) berichtet wurde; ich habe nur schnellere Wirkung erzielt, weil ich bei der neuen Einrichtung mit weniger wechselnder Lichtquelle, wo ich nicht gegen die enormen Intensitätsschwankungen des Tageslichtes mit den dunkelsten Lösungen vorbereitet zu sein brauchte, weniger kräftiger Absorption bedurfte. Der Erfolg wurde ausserdem zu beschleunigen gesucht, indem die Netzhäute meist erst in schwacher Salzlösung gespült, von Epithelstoffen möglichst gereinigt und mittelst darüber geneigter Spiegel so kräftig wie möglich belichtet wurden. So fand ich, dass der Sehpurpur im Blau, welches meinem Auge zwar so tief erschien, dass ich darin ungefähr so schlecht, wie im Dunkeln zu operiren vermochte, in 2—3 Stunden ausblich, im Grün, das meinem Auge sehr licht vorkam, in 3—4 Stunden. Im Roth, das höchst brillant leuchtete, war erst nach 16 Stunden die Wirkung deutlich, nach 24 Stunden indess jede Spur von Färbung aus der Netzhaut verschwunden. Eine Eulen-

Digitized by Google

retina mit höchst entwickelter Purpurfärbung brauchte darin 72 Stunden, um ganz farblos zu werden, und zeigte nach 48 Stunden nicht nur gelbrothe und brandrothe Stellen, sondern auch noch recht bläulichen Purpur. Selbstverständlich blieb das letztere Präparat, wie die übrigen, während der langen Versuchsdauer vor dem Trocknen beständig geschützt. Einige Froschnetzhäute wurden innerhalb des Versuches flüchtig am Tageslicht besehen, die unter Deckglas befindlichen auch mikroskopisch, und ich habe daran constatiren können, dass im Blau das Stadium der Orange- und Gelbfärbung am leichtesten vergeht. Im Anschlusse an *Boll*'s schon erwähnte interessante Entdeckung grüner Stäbchen und an seine merkwürdigen Angaben über deren Vermehrung nach dem Halten lebender Frösche in gewissen farbigen, namentlich grünen Beleuchtungen wurde auf diesen Umstand genauer geachtet, ebenso auf die von mir beschriebenen farblos-grauen, trüben Stäbchen. Was ich sehen konnte war durchaus inconstant; grasgrüne Stäbchen, selbst in ansehnlicher Zahl, sind mir an Präparaten der 3 Beleuchtungen vorgekommen, ebenso die grauen, und wo die Netzhaut vor aller Lichtwirkung im gedämpften Tageslichte durchmustert und noch hinreichend gefärbt an die Laterne gebracht werden konnte, habe ich in dieser Hinsicht keine Aenderung, besonders keine Vermehrung grüner Stäbchen auf Kosten der rothen oder grauen durch das farbige Licht bemerkt. Wohl aber habe ich beobachtet, dass die wirklich grasgrünen Stäbchen im grünen Lichte am längsten aushalten, im blauen und rothen der Reihe nach weniger. Eine vom Dunkelfrosche direkt genommene und schon mit grasgrünen Stäbchen versehene Netzhaut ist darum am geeignetsten zur Demonstration dieser wunderbaren Varietät, wenn sie so lange im grünen Lichte gelegen hat, dass die rothen verblasst sind. Unter welchen Umständen die grünen Stäbchen entstehen, werde ich später erörtern.

Indem ich zum Verhalten des Sehpurpurs im Lebenden über-

Digitized by Google

gehe, muss ich zunächst an die von mir früher beschriebene Regeneration der photographischen Stäbchenplatte mittelst des Retinaepithels erinnern, ohne welche hier kein Verständniss möglich ist. *Boll* (Ber. d. Berl. Acad. 26. Nov.) sagt: „Die Eigenfarbe der Netzhaut wird intra vitam beständig durch das in's Auge fallende Licht verzehrt. Diffuses Tageslicht macht die Purpurfarbe der Netzhaut erblassen. Längere Einwirkung direkten Sonnenlichtes (Blendung) entfärbt die Retina vollständig. In der Dunkelheit stellt sich die intensive Purpurfärbung alsbald wieder her". — Alles dies bezieht sich auf das Verhalten des Purpurs im Leben, nicht auf die Lichtempfindlichkeit der isolirten Netzhaut, die *Boll* zufällig nicht bemerkte, und nicht auf das durch Regenerationsvorgänge modificirte Verhalten an der mit dem Epithel exstirpirten Retina. Bei der Kürze der eben citirten Sätze, welche die hochwichtigen Vorgänge im Leben betreffen, ist denselben die weiteste und günstigste Auslegung zu geben, also anzunehmen, dass der Verfasser, wo er der Regeneration im Dunkeln gedenkt, Frösche so lange mit gleich ergiebiger Belichtung beider Augen behandelte, bis die Bleichung anzunehmen war, ein Auge exstirpirte und es so besah, dass während der Netzhautpräparation nichts nachträglich erblassen konnte, dann den Frosch in's Dunkle brachte und nach einiger Zeit die Wiederröthung im andern Auge feststellte. So viel ich sehe, gibt es noch den andern, obgleich minder zuverlässigen Weg, den Versuch an verschiedenen Fröschen anzustellen und die einen sogleich, die andern nach einigem Aufenthalte im Dunkeln zu untersuchen. Sind dies die Versuche, so wird sie Jeder mit Berücksichtigung des Folgenden bestätigen können.

Schon das ausgeschnittene, unversehrte Froschauge braucht viel Licht, um Spuren von Veränderungen seines Sehpurpurs erkennen zu lassen (vgl. S. 5), vollends das Auge im Zusammenhange mit seinem Besitzer, also intra vitam. Ohne direktes

Digitized by Google

Sonnenlicht ist es mir im Zimmer nie gelungen, Froschnetzhäute frei von Sehpurpur zu ziehen, auch nicht, wenn ich die Thiere am Fenster den ganzen Tag unter Gläsern oder an lange Fäden gebunden unbedeckt umherspringen liess. Nur wenn ich die Thiere einige Stunden in gleicher Weise im Freien hielt (im Jan. u. Febr.), kam es dazu, obwohl nicht immer, wie begreiflich, da es Frösche gibt, die sich durch Einziehen der Augen und Schluss der Nickhaut gegen lästiges Licht zu schützen wissen. Gegen direktes Sonnenlicht pflegen sie sonderbarer Weise von dem Schutze geringeren Gebrauch zu machen. Erwägt man den colossalen Intensitätsunterschied des Lichtes unter freiem Himmel und des sog. helle Zimmer erfüllenden, so lässt sich an den lebenden Augen, falls sie innere Schutzmittel gegen das Ausbleichen besitzen, keine andere Veränderung erwarten, als die, welche man in Wahrheit findet: es wird im Zimmer nur bei direktem Sonnenschein zum Ausbleichen kommen. Ich rathe daher, solche Versuche nur im Freien anzustellen und die Frösche auf weisser Unterlage, rings von Glas umgeben, früh hinauszuthun und etwa um Mittag zu untersuchen. So findet man häufig die Netzhaut ganz farblos, nicht einmal schwach gelblich gefärbt, in anderen Fällen hell purpurn, nicht röthlich.

Nach den S. 8 mitgetheilten Beobachtungen über das Zurückkehren des Purpurs abgehobener und gebleichter Netzhäute bei Berührung während weniger Minuten mit der natürlichen Unterlage des an der Chorioïdea gebliebenen Epithels, könnte vermuthet werden, dass die des Purpurs beraubten Frösche denselben nach sehr kurzem Aufenthalte im Dunkeln wieder zeigen würden. Man muss indess nicht vergessen, dass bei der langen und intensiven Belichtung, welche zum Verluste des im Leben und in der Gesammtretina ungemein echten Purpurs nöthig ist, auch die Funktionen des restituirenden Epithels leiden können; der Regenerationsversuch, ganz im Lichte durchgeführt,

Digitized by Google

gibt der Netzhaut nicht die volle vorherige Röthe zurück (vergl. S. 8), um so weniger, je intensiver das Licht ist und Das liegt z. Th. sicher an Veränderungen, die es an der Epithelsubstanz erzeugt. Man ziehe die Netzhaut glatt aus dem Auge, exponire sie bis zur Bleichung und belichte, während die Retina in's Dunkle zurückkehrt, den Augenhintergrund, bei intensivem Lichte, 20—30 Min. weiter. Bringt man die Netzhaut jetzt geschickt auf die alte Unterlage zurück, so wird man sie auch nach stundenlanger Berührung ihrer Stäbchen mit dem Epithel nicht oder kaum wieder geröthet finden. Dies könnte auf Zersetzung (Absterben) der Epithelien beruhen, liegt aber nicht daran, sondern an der Mitwirkung des Lichtes, weil ein gleich langer Aufenthalt des entblössten Epithels im Dunkeln demselben das Regenerationsvermögen kaum merklich raubt, wie es der umgekehrte positive Erfolg des Experimentes zeigt, wenn man nur die Netzhaut dem Tageslichte ausgesetzt hat. Der epitheliale Regenerator ist also auch lichtempfindlich und eine Folge davon ist es, dass man sich mit der Präparation im Dunkeln nicht sehr zu eilen braucht, wenn man an einem in der Sonne um den Sehpurpur gebrachten Frosche die Farblosigkeit seiner Netzhaut feststellen will. Ich wüsste kein einfacheres, regelmässiger zutreffendes und von manueller Geschicklichkeit unabhängigeres Experiment über die Regeneration der Stäbchenplatte durch den ihr angeschmiegten Epithelfilz anzugeben, als das folgende: man setzt einen Frosch einige Stunden in die Sonne, nimmt beide Augen im Dunkeln heraus, und überzeugt sich an dem einen, dass die Netzhaut ganz farblos ist; nach 1—1½ Stunden holt man die des anderen, inzwischen im Dunkeln gelegenen Auges hervor und sieht, dass sie prachtvoll purpurfarben ist. Die Anfänge der Regeneration sah ich meist nach 30 Min., die Vollendung ungefähr in der doppelten Zeit auftreten.

Belehrt über die ausserordentliche Intensität oder entsprechend lange Zeit der Belichtung, deren das Froschauge im

Digitized by Google

Leben zur Ausbleichung bedarf, konnte ich kaum hoffen, mit dem durch Absorption geschwächten, farbigen Lichte erhebliche Veränderungen zu erhalten. Einige Versuche stellte ich mit meinen Lösungen im Freien an, indem ich dieselben in ringsum geschwärzte sog. Krystallisationsschaalen von hinreichender Höhe goss, an denen nur der Boden durchsichtig gelassen war. Darunter sass der Frosch in einer Porzellanschaale, die mit einem Sammetrande lichtdicht gegen den Boden des Farbenbehälters gepresst war. So ergab sich, dass gewöhnlich die Frösche, welche den Tag über bei stark bedecktem Himmel im Blauen gewesen waren, die blasseste Purpurfarbe zeigten, die im Grün gehaltenen (hier wurde eine Mischung von löslichem Berliner Blau und Pikrinsäure verwendet) röthere, die mit Roth belichteten die dunkelste Netzhaut hatten, was im Allgemeinen mit meinen früheren und speciell mit den weiteren Angaben Boll's vor der Acad. d. Linceï stimmt. In andern Fällen, wenn die Sonne gelegentlich zum Durchbruche gekommen war, habe ich auch im Roth die Abnahme des Sehpurpurs bedeutend, zuweilen sogar völlige Ausbleichung gefunden, aber ich kann für diese nicht beweisen, dass das zur Wirkung gekommene, durchgefallene Licht alles von der Brechbarkeit des rothen gewesen sei. Ueber etwaige Beziehungen der genannten Beleuchtungen zum Auftreten grasgrüner, durchsichtiger Stäbchen ergaben diese Versuche nicht mehr, als die früher erwähnten, an isolirten Netzhäuten angestellten, d. h. nichts Fassbares, falls man nicht dahin rechnen will, dass die grauen Stäbchen um so stärkere Contrastfarbe zeigen, je mehr ihre Nachbarn gefärbt sind und um so mehr dem Blaugrün zuneigen, je brandrother die Netzhaut ist, um so reiner graugrün aussehen, je entwickelter die wahre Purpurfarbe an der Stäbchenmehrheit ist.

Nachdem unter freiem Himmel am lebenden Frosche so wenig mit Absorptionsfarben erreicht worden, hegte ich kaum die Hoffnung, es mit künstlichem Lichte, das aus andern Gründen

Digitized by Google

vorzuziehen war, weiter zu bringen. Indess war hier möglicher Weise durch die Zeit einzuholen, was der Intensität fehlte. Die kurzen, meist sehr trüben Tage des Januar und Februar konnten vielleicht durch die Tag und Nacht brennende Gaslampe, die dem Auge der im Warmen meist nicht schlafenden Frösche keine Ruhe gönnte, ersetzt werden. Manche Frösche zeigten sich zwar vor der Laterne widerspenstig, indem sie dem Lichte den Rücken wiesen und sich duckten, oder, daran verhindert, die Augen schlossen; aber bei einigen, welche sich gefälliger benahmen, ist es mir ganz gut geglückt, nach 20—30 Stunden den Purpur verändert zu finden, im blauen Lichte bis auf höchst geringe Reste, die im Tageslichte in sehr blasses Gelb umschlugen, bevor alle Farbe schwand. Nach 48 Stunden wurde endlich bei einigen Fröschen totale Ausbleichung constatirt. Weit geringer fiel die Bleichung im Grün aus und im Roth war sie niemals zu erreichen.

Wie selten von dem eben genannten Verfahren ausgedehntere Veränderungen auf der Netzhaut zu erwarten sind, erhellt vorzüglich aus der Ueberlegung, dass die Frösche noch nicht das Nöthigste leisten, wenn sie lange durch die Lösungen starren. Sie sollen den Blick noch vor der Farbe wandern lassen, um alle Theile ihrer Retina kräftiger, als es durch das diffuse Licht geschieht, welches dieselben ausser dem Bilde der Flamme trifft, zu exponiren, und sollen die Bewegung dazu so häufig und in der Weise ausführen, dass die schwächer erleuchteten Netzhauttheile keine Zeit gewinnen, ihren Purpur wieder herzustellen. Ich hätte darum nach Erreichung einiger positiver Resultate, unter recht vielen negativen, die ganze Anordnung verlassen, wenn ich nicht zufällig bei einem nur 14 Stunden im Blau gehaltenen Frosche, der beharrlich nur mit einem Auge in das Licht glotzte, das schönste Bild der Gasflamme völlig farblos in den tiefrothen Grund der Stäbchenmosaik eingezeichnet gefunden hätte. Die Retina war,

Digitized by Google

ohne mein Verdienst, zufällig ausserordentlich glatt aus dem Auge geschlüpft und lag vollendet gut ausgebreitet gegen das Deckglas, demselben alle Stäbchen, aufgerichtet, mit pigmentlosen Enden zuwendend. So muste eine helle, scharf berandete, ziemlich central gelegene, farblose Stelle, die ich darin fand, ungewöhnlich auffallen, und als ich mir dieselbe bei schwächerer Vergrösserung besah, war das Flammenbild mit seinen zwei züngelnden Spitzen gar nicht zu verkennen.

Es gibt nun ein einfaches Mittel, solche Photographieen auf der Retina nach Belieben zu erhalten, indem man den Frosch mit Curare unbeweglich macht, die Nickhaut fortschneidet, die Augen durch einen in's Maul geschobenen Papierballen etwas hervordrängt und das Thier mit einem Auge etwa 2 Stunden gegen die Flamme wendet. Die günstigste Entfernung beträgt 35—40 Ctm. Ich will den Versuch jedoch nur Denen empfehlen, die viel Zeit daran zu wenden haben, denn auch der Geübteste wird nicht vorher wissen, ob es ihm gelingt, die Netzhaut des Frosches so gegen das Deckglas zu bringen, dass ein vorhandenes Flammenbild zur Anschauung kommt. Während ich die günstigste Sehweite auszuprobiren suchte, ist mir das Experiment wiederholt geglückt.

Unzweifelhaft kann es keinen besseren Beweis für die Hypothese, dass das Licht im Auge auf die Netzhaut, wie in der Camera obscura auf die photographische Platte wirke, geben, als das vorhin erwähnte Flammenbild. Bevor ich dasselbe im Froschauge kannte, wo es zufällig gefunden wurde, hatte ich darum Aehnliches längst an grösseren Säugethieraugen erstrebt; mit welchem Erfolge, sagen meine beiden kurzen Mittheilungen im Centralblatte f. d. Med. W., Nr. 3 u. 4, und als ich den Schlusssatz der obigen ersten Abhandlung (S. 11) mit einiger Sicherheit

Digitized by Google

des Ausdruckes der Oeffentlichkeit übergab, war es mir bereits (2. Jan.) gelungen, das erste Bildchen oder Optogramm zu erhalten, das bei aller Unvollkommenheit hinreichte, um die **Optographie** glaublich zu machen und die Erhaltung des Bildes im Auge für ausführbar zu halten.

Ich sehe bei dem Gegenstande ganz von seiner Feuilletonfähigkeit ab, und gebe ihn gern allen Reclamationen phantasievoller Todtenbeschauer dies- und jenseits des Oceans von vornherein preis, denn angenehm kann es nicht sein, in jener Begleitung mit einer ernsten Angelegenheit die Runde machen zu müssen. Manches Wort, das sich darüber sagen liesse, mag hier lieber unterdrückt bleiben, um es in die Bitte zu wandeln, dass man von mir keine Berichtigungen solcher Veröffentlichungen, die nicht in üblicher Weise durch meinen Namen autorisirt sind, erwarte.

Nachdem ich die Lichtempfindlichkeit der überlebenden und abgestorbenen Netzhaut an der nur vom Lichte abhängigen Veränderlichkeit ihres Purpurs gefunden hatte, sagte ich mir, es müsse im herausgenommenen Auge möglich sein, das bekannte Bildchen, welches der dioptrische Apparat im Hintergrunde entwirft, auf der Netzhaut nach Entfernung des Objectes wieder zu finden. Der Weg, den ich dazu einschlug, mag nicht der beste und kürzeste gewesen sein, so dass die ausführliche Mittheilung meiner Experimente vielleicht mehr zeigen wird, wie man bei derartigen Arbeiten nicht vorgehen soll, als wie man sicheren Schrittes zum Ziele gelangt, ich meine ihn aber in der folgenden Darstellung nicht umgehen zu dürfen, da sich darauf Manches ergeben hat, das bewährtere Pfadfinder vielleicht nicht bemerkt hätten, weil es auf einer von ihnen nicht berührten, obwohl Interesse bietenden Seite gelegen hätte.

Ueber das verkleinerte, umgekehrte, reelle Bildchen an sich habe ich bei der wunderbaren Ausbildung der Dioptrik des Auges durch die hervorragendsten Kräfte der Vor- und Mitzeit wenig

Digitized by Google

mehr zu bemerken, als dass ich versucht habe, es möglichst scharf zur Anschauung zu bringen, ehe ich daran ging, es auf der Netzhaut zu befestigen. Am besten dienen dazu Augen albinotischer Kaninchen, wo es durch die Sklera prächtig durchleuchtet und als Abbild entfernter Gegenstände oft untersucht ist. Pigmentirte, selbst schwarze Kaninchen sind dazu fast ebenso verwendbar, obwohl man es beim Anblicke des tief dunklen Augengrundes nicht glauben sollte. Indess kann das Retinapigment sehr dunkel und doch das ganze Auge ziemlich durchsichtig sein, wenn nur die Chorioïdea mässig gefärbt und die Sklera dünn genug ist, wie es beim Kaninchen der Fall ist, da die Stäbchen durch das Pigment bis an die farblose Basis der Epithelzellen reichen. Im Kaninchenauge mag vor der schwach gefärbten Uvea das retinale Pigment öfter spärlich genug geschichtet sein, um die Durchsichtigkeit zu erklären; es gibt aber z. B. bei den Vögeln Augen mit viel stärkerer Entwicklung desselben, die ein sehr gutes Bild durch die dünne Sklera erkennen lassen und hier wird der Grund für die Durchsichtigkeit auch darin zu suchen sein, dass einerseits die Chorioïdea sehr schwach pigmentirt ist, während die Retina nach Art einer aus Glasfäden gemachten Bürste durch den tiefschwarzen Pigmentflor in Wahrheit bis an die nächste durchsichtigere Unterlage gepresst ist. Netzhäute, die mit der Pigmentlage herausgekommen, bei etwas seitlicher Betrachtung wie schwarzer Sammet aussehen, können bei senkrecht durchfallendem Lichte in dieser Beziehung oft starke Ueberraschungen bereiten, wenn man sich daran macht, das meines Wissens von *M. Schultze* zuerst hervorgehobene Durchragen der Stäbchen nach hinten zu erkennen. Die Angelegenheit scheint mir in Rücksicht auf die Reflexion solchen Lichtes, das der Stäbchenaxe parallel geht und hinsichtlich der lichtbrechenden, linsenartigen Körperchen, welche vor den Aussengliedern liegend vermuthlich die Partialbildchen an deren hinterm Ende entwerfen,

Digitized by Google

wichtig genug, um ihrer hier gelegentlich zu gedenken, und im Augenblicke, wo die schwierige Frage nach der ophthalmoskopischen Sichtbarkeit des Sehpurpurs bereits discutirt wird, wobei die der übrigen Pigmente nicht auszuschliessen ist, sehr der Beachtung werth.

An andern, als Kaninchen- und Vogelaugen habe ich auf die Besichtigung des Bildes verzichten müssen, weil man daran selbst unter sorgfältigem Schutze gegen sonstiges Licht überhaupt nichts durchscheinen sieht; beim Hunde, Kalbe, Hammel, Schweine und Ochsen liegt dies ausschliesslich an der zu dicken Sklera, nicht an dem Retina- oder Chorioïdalpigmente, denn man sieht das Bild durch die letzteren sogar im Schweineauge, das kein Tapetum besitzt, vortrefflich durchschimmern, wo man ein Stück der Sklera abgetragen hat. Dass man am lebenden Auge des Menschen bei blonden Individuen das Bild öfter aussen auf der Sklera sieht, ist bekannt; ich glaube aber nicht, dass dies von dem weniger entwickelten Pigmente herrührt, sondern vermuthe für die meisten Fälle den Grund in der Zartheit der Sklera, durch welche zugleich das Pigment mit bläulicher Farbe sichtbar wird. Beim Frosche endlich sieht man nur am Sehnerveneintritte Licht durchschimmern und in diesem Auge ist es nicht die Sklera, welche bekanntlich sehr durchsichtig ist, und nicht das Retinaepithel, sondern ausschliesslich die stark pigmentirte Chorioïdea, die das Licht hemmt.

Entferntere Gegenstände erscheinen hinten am Kaninchenauge so deutlich, dass man mit ähnlich scharfen Optogrammen alle Ursache hätte, zufrieden zu sein. Sie haben nur den Nachtheil von den meisten zur Hand befindlichen Objecten, wie Fensterreihen auf hellen Häuserflächen u. dgl., zu klein zu sein. Besser sind schon die hellen Fensterflächen mit dunkler, gekreuzter Rahmung, die das Auge im Zimmer, um einige Schritte entfernt davon abbildet; kleine Figuren auf den Scheiben erhalten sich

Digitized by Google

mit gleicher Deutlichkeit im Bilde bei weiterer Annäherung bis auf 30 und 19 Ctm. Ich habe in der verschiedensten Weise diese letztere Sehweite zu bestimmen gesucht, z. B. wo ich im Dunkeln zu arbeiten hatte, mit der Natronflamme, deren Einzelheiten recht hübsch zum Vorschein kamen; aber ich habe es nicht möglich gefunden, grosse Genauigkeit zu erreichen. Zerrungen und Aenderungen des Druckes von aussen wurden zu vermeiden gesucht, indem ich das Auge im gespaltenen Kopfe an seinem Platze liess und durch Fortnehmen des Hirns, einiger Schädelstücke und des Inhaltes der Orbita von hinten zugänglich machte, aber, was ich eigentlich wollte, nämlich die Sehweite mittelst des *Scheiner*'schen Versuches bestimmen, ist mir mit keinem linearen Objecte gelungen. Am schärfsten scheint mir noch die Bestimmung mittelst einer Photographie möglich, wozu ich das Negativ eines überlebensgrossen Portraitkopfes auf Glas gegen den Himmel wandte. Da erkennt man Umrisse und Aehnlichkeit im Bildchen in der Regel, wenn das Auge 25 Ctm. hinter dem Objecte steht. Bestimmteres anzugeben scheint deshalb unthunlich, weil das Auge im Tode fortschreitenden und schwer nachzugehenden inneren Aenderungen unterliegt, die z. Th. die Schärfe des Bildes stören. Dieselben liegen zunächst in den bekannten Trübungen der brechenden Medien, die um so unbequemer sind, als sie die Intensität des einfallenden Lichtes, besonders des optographisch wirksamsten, schwächen und wie *Helmholtz* angibt, auch die Untersuchung des todten Organs mit dem Augenspiegel vereiteln, welche sonst zur Bestimmung der Refraction zu benützen wäre; ferner in den Aenderungen der Iris, des Accommodationsapparates und des intraoculären Drucks. Die Iris, gleich nach dem Tode so schmal, dass sich die Pupille aufs Aeusserste erweitert, verengt diese bald wieder beträchtlich, um später zu einer mittleren Stellung zurückzukehren. Gleichzeitige Aenderungen in der Accommodationsmuskulatur sind wahrscheinlich, abgesehen

Digitized by Google

von den inneren Druckänderungen, die für Form und Lage der Linse, wie für die Angriffsweise der ersteren auf sie, nicht gleichgültig sein können. Dazu kommt endlich die Gestaltsänderung des ganzen Bulbus mit der Cornea, kurz es fällt eine so grosse Zahl von Vorgängen zusammen, die das Bild beeinflussen müssen, dass hier nur Probiren am Platze war. Welcher Weg der bessere sein würde, ist mir darnach nicht zweifelhaft: man muss am lebenden, mit Curare vergifteten und atropinisirten Kaninchen arbeiten, dessen Refraction vor dem optographischen Versuche mit dem Augenspiegel zu bestimmen ist; doch habe ich die Zeit zur Erlernung dieser viel Uebung voraussetzenden Technik nicht abwarten mögen.

Ein Blick in das geöffnete Auge nicht albinotischer Thiere lehrt, dass man nach Entfernung des Glaskörpers oder Umstülpen des concaven Hintergrundes mit der Skleralseite über eine convexe Fläche, nicht so viel vom Sehpurpur wahrnehmen kann, um darin eine farblose Zeichnung, wenn sie existirte, erkennen zu können. Durch lange Erfahrung und Uebung glaube ich es zwar dahin gebracht zu haben, sagen zu können, ob die auf dem Pigmente ruhende Retina nach dem Abziehen roth oder farblos aussehen wird, und ich erkenne den Sehpurpur allenfalls auch im Froschauge an einer röthlich braunen Nuancirung des schwarzen Grundes: aber hellere von rötheren Stellen zu unterscheiden, mache ich mich nicht anheischig. Am besten erkennt man den Sehpurpur in Situ noch auf dem wenig farbig schillernden, mehr silberglänzenden Tapetum des Hundeauges, weniger gut auf der grünblauen, atlasglänzenden Fläche des Tapetums der Pflanzenfresser, aber in keinem Falle so, dass man ein Optogramm darauf würde unterscheiden können. Aus dem Kaninchenauge, das kein Tapetum besitzt, musste die Netzhaut also hervorgehoben werden, wenn ich das Bild sehen wollte; eine missliche Procedur, die mühsamen Versuchen ein schlechtes Ende versprach, wenn die

Digitized by Google

zarte Membran einriss. Da diese Schwierigkeit unüberwindlich blieb, wandte ich mich an albinotische Kaninchen, deren purpurrothe, auf der natürlichen Unterlage kenntliche Netzhautfarbe mir bekannt geworden war.

Die Kaninchennetzhaut zerfällt der Färbung nach in sehr eigenthümlicher Weise in zwei Abschnitte, in einen blasseren, oberen und einen dunkler rothen, unteren. Der Opticus steigt bei diesen Thieren nach dem Eintritte in die Orbita hoch am Auge empor, indem er sich der äusseren, hintern Bulbusfläche in längerer Ausdehnung anschmiegt, und bildet, durch das Auge gelangt, den bekannten, zu seiner Anfangsrichtung senkrecht gestellten, nach beiden Seiten abgehenden, weissen Streifen markhaltiger Nervenfasern, der zugleich das einzige gefässführende Gebiet dieser Netzhaut darzustellen scheint. Somit wird die Retina durch den weissen Streifen in eine obere kleinere und eine untere grössere Abtheilung geschieden. Unter dem weissen Streifen befindet sich der zweite dunkel-purpurrothe, von etwa gleicher Breite, welcher sich gegen den oberen, weniger gefärbten Netzhautabschnitt scharf, gegen den untern rötheren, etwa in der Höhe des Netzhauthorizontes diffuser abgrenzt und beiderseits weit nach vorn herumreicht. Hiernach liegen die markhaltigen Fasern ganz in dem purpurärmeren Netzhauttheile, so dass der blinde Fleck der Kaninchen, der wie ein dunkles, breites Band wahrgenommen werden müsste, zugleich in einer vermuthlich weniger gebrauchten, unteren Gegend des Sehfeldes liegen wird. Die Erscheinung des rothen Streifens hat mit darunter liegenden Blutgefässen nichts zu schaffen und ist an abgezogenen Kaninchennetzhäuten jederzeit zu demonstriren. Hier ist der Purpur weitaus am intensivsten und bleicht immer so viel später aus unter Uebergang in Gelb, dass der Streif an stark ausgeblichenen Präparaten noch lange sichtbar bleibt; zuletzt wird er freilich auch unkenntlich. Ich habe nicht untersucht, welcher Netzhaut-

Digitized by Google

einrichtung der Streif zuzuschreiben ist und kann nur die Vermuthung aussprechen, dass die leichte Verdickung, die sich daran findet, auf ungewöhnlicher Länge der Stäbchen beruht. Etwas Aehnliches findet sich übrigens in manchen Thieraugen angedeutet. An dem rötheren, untern Netzhautabschnitte des leukotischen Kaninchens sieht man den Purpur über die ganze Fläche gleichmässig verbreitet, und wenn das Thier durch Verbluten getödtet wurde, pflegen die Blutreste in der Chorioïdes den schönen Anblick nicht zu stören. Vollends gleicht die Retina einem hübschen Rosenblatte, wenn man die hintere Bulbushälfte über die, mit Einschluss der Linse, zur Unterlage sehr geeignete, vordere Hälfte umstülpt. Vom Natronlichte zu Tage gebracht ist dann das Schwinden der Farbe bis auf die des Blutes, welche immer in erkennbaren Venen streifig angeordnet ist, zu beobachten. Hinsichtlich der Regeneration und der relativen Echtheit des Purpurs gegen Licht an solchen Präparaten muss ich jetzt das früher (S. 9 u. 10) Gesagte mit grösserer Bestimmtheit hervorheben: ein von der farblosen Chorioïdes abgehobener Lappen der Netzhaut mit der Vorderfläche gegen das Licht, neben das Uebrige gelegt, bleicht unzweideutig schneller aus, als die am Orte belassenen Theile. Der Unterschied wird besonders klar, wenn man von den letzteren nach ungefähr $^1/_2$ Minute ebenfalls ein Stück rasch abzieht und neben dem zuerst isolirten Lappen auf gleicher Unterlage von weissem Porzellan ansieht. Viel auffallender und nach vier mal längerer Belichtung noch erkennbar ist die Sache am pigmentirten Kaninchenauge, wie ich vermuthe, weil das Pigment nicht den Purpur, sondern den Purpurbildner im Epithel gegen das Licht schützt. Ich möchte es bei dieser Gelegenheit als Hypothese aussprechen, dass das schwarze Pigment überhaupt weniger einen Schutz für den Stäbchenapparat, als für den purpurzeugenden epithelialen darstelle, denn ich sehe nicht, welchen Schaden das Durchfallen von Licht gegen die

Digitized by Google

Sklera bringt, das überdies in der Einrichtung fast aller Augen unvermeidlich ist, und verstehe noch weniger, worin der Nutzen seitlicher Pigmentscheiden für die Stäbchen liegen soll, deren innere Cylinderflächen, wie *Brücke* nachwies, doch alles nicht der Axe parallele Licht reflektiren müssen. Soll das Pigment als Mittel dienen, die Stäbchen vor Beleuchtung ihrer äusseren Cylindermäntel durch zwischen sie fallendes Licht zu schützen, so versteht man wieder nicht, weshalb die Epithelfortsätze bald gar kein Pigment, bald nach langen Zwischenräumen geschichtetes enthalten. Man sieht, welche Fülle von Fragen weitere Untersuchungen über das Epithel zu berühren vermöchten. Ein gebleichtes Retinastück vom Kaninchen durch Zurücklegen auf die im Dunkeln gehaltene, entblösste Epithelschicht wieder zu röthen, was beim Frosche so leicht zu erzielen ist, wollte mir bis jetzt nicht gelingen, und ich würde darum den bessern Beweis für die purpurzeugende Function des Netzhautepithels ohne das Froschauge nicht haben führen können. Ich glaube jedoch annehmen zu dürfen, dass diese Thätigkeit im eröffneten Auge farbiger Kaninchen am Lichte noch mindestens 2 Minuten mit abnehmender Energie vorhanden ist (vergl. unten).

Den ersten optographischen Versuch stellte ich in folgender Weise an: ich bohrte in die lichtdichte Holzwand meines durchweg geschwärzten, fensterlosen Dunkelzimmers, das hinter einem zweiten für den Heliostaten und zu optischen Arbeiten eingerichteten Zimmer liegt, ein Loch, das ich mit einem kreisrunden Diaphragma von 5 Mm. Durchmesser deckte. Das optische Zimmer war durch den Fensterladen geschlossen mit Freilassung einer matten Scheibe, auf welche helles Mittagslicht fiel. Um dieses von der genannten Holzwand 5,77 Meter entfernte Object als Bild im Kaninchenauge aufzusuchen, wurde es zuerst mit intensiv gefärbtem, chromgelbem Seidenpapier verhängt, das albinotische Kaninchen nach 15 Minuten

Digitized by Google

langem Verweilen im Dunkeln geköpft, im Natronlichte ein Auge aus dem Kopfe genommen, hinten etwas abpräparirt, mittelst durch die Conjunctivareste gestockter Nadeln auf den Rand eines Korkes befestigt und mit der Cornea sanft gegen das Diaphragma gelehnt. Das Bild fand sich auf der Sklera zur einen Seite des in einiger Ausdehnung dem Auge belassenen Opticusstammes und soweit unterhalb der Eintrittsstelle des Nerven, dass ich es auf dem rötheren Abschnitte der Netzhaut wusste und mir den Ort in dem betr. Quadranten gut merken konnte. Hierauf wurde der gelbe Vorhang von der Lichtöffnung gezogen und 5 Minuten exponirt, das Auge zurückgenommen, im Aequator halbirt, umgestülpt und in schwachem Gaslichte besehen. Da ich noch kein Bild erkennen konnte, brachte ich das Präparat an gedämpftes Tageslicht und vor den Blick einiger Zeugen; die Retina hatte einen unzweideutigen helleren, diffusen Fleck, dessen geringe Grösse dem von mir allein zuvor gesehenen Bilde entsprechen konnte, und dessen Lage mir bereits die Ueberzeugung verschaffte, dass er das Optogramm sei. Jeder der Zeugen versetzte den Fleck an dieselbe Stelle. Das Auge wurde von der Unterlage gehoben und meinerseits die vorher gemerkte Stelle hinten auf der Sklera gesucht, was mir an der mitbeachteten Anordnung kleiner Muskelreste recht gut gelang; ich bohrte eine Nadel von hinten durch und hörte an den Aeusserungen der Ueberraschung unter den Umstehenden schon, dass ich richtig getroffen hatte. In ähnlicher Weise wurden etwa 30 Versuche meist mit schlechterem, kaum mit besserem Erfolge ausgeführt, unter den mannigfachsten Aenderungen des Objectes, der Sehweite, der Zeit nach dem Tode, der Lichtintensität und Expositionszeit; doch wollte es niemals gelingen, ein ordentliches Bild, etwas Andres, als Flecke zu erhalten. Unter meinen Notizen finde ich in dieser Versuchsreihe nur einen, der mich hätte bestimmen können, die Ausführbarkeit der Optographie zu behaupten. Es

Digitized by Google

handelte sich um ein Auge, an dem 45 Min. nach dem Tode auf 30 Ctm. Entfernung das Bild einer Magnesiumflamme hinter rothen und gelben Gläsern eingestellt war. Nach 15 Sec. Exposition gegen die unbedeckte Flamme, fand sich auf kräftig rothem Grunde ein weisser Fleck in der Retina, dessen Gestalt so sehr der des brennenden Magnesiumbandes glich und darüber zwei helle Kleckse, die nur dem abgetropften, auf dem Tische fortbrennenden Metalle entsprechen konnten, dass ausser mir niemand mehr zweifeln wollte.

Nach diesen ersten nicht befriedigenden Erfolgen, welche zur Ueberlegung und experimentellen Prüfung aller denkbaren Hindernisse, die sich etwa dem erwarteten Erfolge entgegenstellen mochten, auffordern mussten, gelang es inzwischen, die Wahrheit zu gestehen, zufällig und ohne alles Verdienst menschlichen Zuthuns, die schönsten Optogramme herzustellen. Ich hatte nämlich an das Allereinfachste nicht gedacht, indem ich nicht erwog, dass die dem Glaskörper zugewendete Retinafläche, die ich ausschliesslich betrachtete, nicht die rothe ist, und dass die vorderen Retinaschichten, im Tode getrübt, einen Schleier über die Purpurfläche ziehen konnten, der wohl Farbiges und Blasses, aber nicht die Grenzen und Einzelheiten von Bildern zu unterscheiden gestattete. Wo mit so frischen Augen und so schnell verfahren war, dass die Retina noch für durchsichtig genug gelten konnte, gab es andre Uebelstände für die Betrachtung von vorn, die in der faltigen Beschaffenheit jeder in der bisherigen Weise umgestülpten Hintergrundsfläche, in deren schlüpfrig feuchten und glitzernden Oberflächen lagen. Ich habe seitdem namentlich am Ochsenauge gesehen, dass die genannten Uebelstände wirklich jedes in der Stäbchenschicht befindliche Bild bis zur Unkenntlichkeit verwischen.

Das nun unvermeidlich gewordene Herausnehmen und Wenden der Netzhaut liess sich glücklicher Weise sehr einfach beim

Digitized by Google

Kaninchenauge, wo die Membran frisch und unvorbereitet, ungemein zerreisslich ist, durch einfache Kunstgriffe bewerkstelligen. Nach vielem Herumprobiren unter den Substanzen, deren Unschädlichkeit für den Sehpurpur ich bereits kannte und denen Härtungsvermögen für die Retina zuzutrauen war, wie dem Tannin, Blei-, Zinksalzen u. s. w. fand ich eine Lösung von 4 pCt. Kalialaun am geeignetsten, um der Membran die wünschenswerthe Zähigkeit zu ertheilen. Andere Zwecke wurden damit nicht beabsichtigt und erreicht, was ich ausdrücklich gegen die verbreitete Meinung, dass das Verfahren eine Art Entwicklung des Bildes verfolge, hervorhebe. Das eröffnete und vom Glaskörper gut befreite Auge wird sofort nach Aufnahme des Bildes in die Alaunlösung geworfen, um darin 24 Stunden im Dunkeln zu verweilen. Ich empfehle mein anfängliches Verfahren, das Auge umgestülpt, über die vordere Hälfte gezogen, einzulegen, nicht mehr, seit ich gelernt habe, die Papille von innen mit dem Locheisen auszudrücken. Dafür rathe ich mit um so grösserer Sorgfalt zu beachten, dass das Auge nicht zusammengefallen oder faltig im Alaun liege, denn die Lösung macht die Retina nicht so zähe, dass sie nicht an Knickungen, die im Härten entstanden sind, leicht bräche. Nach vollendeter Alaunwirkung bringe man das Auge unter Wasser, wende hier das Locheisen, auf einer Unterlage von Blei an und fasse die Membran an einem Punkte oberhalb des Opticuseintrittes, also an dem weniger rothen Theile, in welchen die Bilder gewöhnlich nicht fallen. Wenn das Verfahren tadellos durchgeführt ist, glückt es oft, die Netzhaut, ohne dass sie zusammenfällt oder sich umschlägt, mit einem leisen Rucke wie ein zartes Schälchen aus dem festeren Skleranapfe hervorzuheben. Die Innenfläche zeigt sich nun rein weiss und opak, nur die convexe Aussenfläche ist roth oder rosa, wie ein Rosenblatt. Ich bringe unter das Wasser ein Porzellanschälchen, das kaum grösser als ein halbes Kaninchenauge ist, schiebe darunter einen passend gebogenen Blechstreif,

Digitized by Google

mit dem ich es später in horizontaler Lage emporheben kann, und lasse die Netzhaut mit der concaven, vorderen Fläche auf die convexe Porzellanfläche sinken. Zuweilen gelingt es die Membran, dem Schälchen überall glatt anliegend aus dem Wasser zu heben, doch wird man sie in den meisten Fällen vom Rande her, mit Schonung des Bildes, über das man sich mit der Streichholzflamme schnell orientirt, etwas einschneiden und so lange auf der Unterlage flottiren lassen müssen, bis sie möglichst faltenfrei ausgebreitet ist. Ich brauche kaum zu sagen, dass sich das Optogramm am besten in der schwimmenden Netzhaut bei unverminderter Krümmung beobachten lässt. Die Flüssigkeitsschicht darf indess nicht zu tief sein, denn es ist merkwürdig zu sehen, wie viel die Absorption im Wasser der Purpurfarbe, wenigstens an Alaunpräparaten, raubt. Ueber alle Erwartung einfach gestaltet sich die Sache beim Ochsenauge, wo man nach der Alaunwirkung die Netzhaut nicht schlechter heraushebt, als es mit einem ledernen Beutel gehen würde; das Verfahren diese Netzhaut frisch in Salzwasser zu Tage zu bringen, wurde oben (S. 47) schon beschrieben. Will man Optogramme darauf sehen, so lässt man sie flottiren. Ich ziehe die Alaunpräparate allen andern vor, weil sich Roth und Weiss daran am schärfsten abgrenzen, sowohl im feuchten, wie im trocknen Zustande, während die Ochsenretina, so lange sie im Salzwasser liegt, die Optogramme ungefähr so zeigt, wie wenn die farblosen Theile in blassröthliches Ueberfangglas geschnitten wären. Getrocknet markiren sich diese Bilder besser, obschon nicht so gut, wie an eingetrockneten Alaunpräparaten und vollends nicht, wie an ebensolchen noch feuchten.

Den Sehpurpur zu fixiren hat nur insoweit wissenschaftliches Interesse als dahin zielende Methoden zugleich Aufschlüsse über das chemische Verhalten dieses Körpers geben können, oder technische Bedeutung, insofern es sehr wünschenswerth ist die Er-

Digitized by Google

folge der Lichtwirknng nicht in der kurzen Zeit beurtheilen zu müssen, welche das zum Betrachten nöthige Licht gewährt. Jedes Licht, bei dem man etwas von der Netzhautfarbe sehen kann, wird daran von Anfang an Veränderungen erzeugen und diese müssen eine um so bedenklichere Unsicherheit in die Beobachtung bringen, als man sie nicht gleich zu bemerken glaubt.

Wieder war es ein Zufall, der hier zur ersten Annäherung an die Aufgabe führte. Ich hatte Netzhäute vom Ochsen auf Milchglasstreifen im Dunkeln getrocknet, um Material zu haben für Spectralversuche, wenn die Sonne wieder scheinen würde. Beim Frosche hatte ich gesehen, dass die nur an der Luft getrocknete Retina zwar viel langsamer, als gewöhnlich, aber besonders am Sonnenlichte vollkommen ausblich. Für die trocknen Rindsmembranen kam nach einigen Wochen endlich das ersehnte, etwas anhaltendere Sonnenlicht; sie wurden ins Spectrum geschoben und blieben darin lange. Darnach war nirgends Abnahme der Farbe zu sehen. Ich legte sie ins Freie, in die Sonne und fand das schöne Orangeroth unverwüstlich. Nun wurde die Glasplatte in Wasser gelegt, bis die angetrockneten Netzhäute weich geworden und die nächsten beiden Tage, an denen gelegentlich auch die Sonne hervortrat, feucht exponirt. Die Tiefe der Farbe nahm dabei vielleicht etwas ab, aber zum Ausbleichen kam es nicht. Das Verfahren Optogramme zu conserviren, besteht demnach nur darin, die Porzellanschälchen, worauf sie angetrocknet sind, gleich in den Exsiccator über SH_2O_4 zu bringen und sie darin im Dunkeln zu lassen. Wie lange die Erhaltung in diesem Zustande zu dauern habe, vermag ich nicht genau zu sagen, ich empfehle nur möglichst lange Zeit, denn es ist merkwürdig, von wie grossem Einflusse die Dauer des trocknen Zustandes ist. Kleine Netzhäute vom Frosche und Kaninchen trocknen natürlich sehr schnell, in einem ordentlichen Exsiccator in 24 Stunden wohl so vollkommen, wie es über SH_2O_4 überhaupt

Digitized by Google

möglich ist, besonders wenn man sie inzwischen von der Unterlage losschabt. Im Trockenraume habe ich sie dann sogleich gegen stundenlangen Sonnenschein nahezu unveränderlich gefunden, abgesehen von einer gewissen Abnahme der eigentlichen Purpurfarbe, so dass das Orange mehr hervortrat. Es genügt, sie in die gewöhnliche, feuchte Luft zu bringen, um sie alsbald ziemlich zugänglich für Licht, ja vollkommen darin bleichend zu finden, geradeso wie die nur an der Luft eingetrockneten Netzhäute sich auch verhalten. Vollends bleichen sie aus nach dem Erweichen in Wasser. Mehrere Tage, eine Woche und darüber, im Exsiccator gehalten, nimmt dagegen die Fähigkeit zum Ausbleichen, nach erneuerter Befeuchtung, immer mehr ab, so dass man bei dem Sehpurpur jetzt schon so gut von Echtheit reden kann, wie bei vielen technisch verwendeten Farben. Meine Erfahrungen sind noch nicht von hinlänglicher Dauer, um sagen zu können, wie weit diese Echtheit gehe; mir und Andern wird es aber von Wichtigkeit sein, ein einfaches nur Geduld erforderndes Verfahren zu haben, das die Beobachtung der Optogramme ohne Eile möglich macht. Wer auf die Wirkung längeren Trocknens nicht warten will, mag die Besichtigung im Exsiccator vornehmen.

Im feuchten Zustande für etwa 2tägige Belichtung haltbar werden Optogramme durch Einlegen der Alaunpräparate in eine schwache Sublimatlösung, worin der Purpur schon im Dunkeln in sehr lichtes Gelb übergeht, das besonders beim Frosche und Ochsenauge, weniger beim Kaninchen, bedeutend widerstandsfähiger ist, als das natürliche Gelb, welches der vollendeten normalen Lichtbleiche vorangeht. Es ist indess nicht angenehm ein schönes, purpurnes oder orangerothes Optogramm in so schwächliche Zeichnungen übergehen zu sehen.

Dieselben Aenderungen im Verhalten gegen Licht, wie an der frischen oder nach Alaunwirkung im Exsiccator behandelten

Digitized by Google

Retina, habe ich nach längerem Trocknen an dem, neben retinalem Neurokeratin isolirten Sehpurpur beobachtet. Ein davon bedecktes Filter blich, nachdem es lange getrocknet war, wieder befeuchtet, in der Sonne nicht mehr aus, und hier liess sich feststellen, dass es nicht die lange Conservirung allein, sondern die Trockenhaltung ist, welche die Indolenz hervorbringt, denn die ungetrockneten Keratin-Purpurpräparate, die man in reinem Wasser, wochenlang, ohne Fäulniss, im Dunkeln aufbewahren kann, bleichen nach beliebig langer derartiger Conservirung ans Licht gebracht, sehr gut aus.

Obwohl bereits an meinem Ziele angelangt, habe ich noch einige Versuche zur Verbesserung der Optogramme unternommen, indem ich den Photographen zu folgen suchte, welche die ersten Spuren photochemischer Zersetzungsprodukte benutzen, um daran neue Niederschläge, sei es durch Reduction der Bäderstoffe, sei es durch Anhaftenlassen bereits fertiger Niederschläge, an den belichteten Stellen anzuhäufen. Es ist dies eine Entwicklung, keine Fixirung, die jedoch an der Netzhaut zu versuchen war mit Rücksicht auf die Frage, ob gebleichter oder genuiner Sehpurpur reducirende Eigenschaften hätten. Gold-, Silber- und Eisenverbindungen liessen mich in der Hinsicht ganz im Stich. Bei der Osmiumsäure ergab sich die interessante Thatsache, dass eine Froschnetzhaut in einer 1procentigen Lösung eine halbe Stunde im Dunkeln verweilen kann ohne Vernichtung des Purpurs; die Stäbchen werden zwar sehr dunkel, aber ihr Braun ist ein entschiedenes Rothbraun, das im Lichte deutlich erblasst und sehr zu unterscheiden ist von der Farbe, welche eine zuvor im Lichte gebleichte Netzhaut unter nachträglicher Osmiumsäurewirkung annimmt. Von Pyrogallussäure sah ich etwas Bräunung in der alkalischen Membran eintreten, ohne Vernichtung des Purpurs und dessen Lichtempfindlichkeit. Kaliumpermanganat färbte die Netzhaut braun, wie natürlich, weniger, wenn

Digitized by Google

die Lösung mit 2 Proc. Essigsäure versetzt war, und in dieser Mischung hielt sich der Purpur wunderbarer Weise mehrere Stunden, um am Lichte, wie gewöhnlich, durch Orange und Chamois gehend, zu erbleichen. Umgekehrt wollte es mir mit energischen Reductionsmitteln ebensowenig glücken, den Sehpurpur zu entfärben oder am Bleichen durch Licht zu hindern. Ich habe mit den von *Stokes* zur Reduction des Hämoglobins eingeführten Mischungen von Eisenvitriol oder Zinnchlorür mit Weinsteinsäure und überschüssigem Ammoniak gar keine Aenderung des Purpurs oder Rückfärbung der im Lichte gebleichten Netzhaut eintreten sehen, ebensowenig mit Schwefelammonium oder Schwefelwasserstoff. Nach diesem Verhalten des Purpurs wird man es nicht überraschend finden, dass derselbe unabhängig vom Sauerstoff, z. B. in einem reinen CO_2-Strome sich gerade so verhält, wie wenn er in Luft, in Wasser, in Blutserum u. s. w. dem Lichte ausgesetzt wird.

In der Photographie heisst Fixiren bekanntlich in den meisten Fällen die Beseitigung überschüssiger, unzersetzter, noch lichtempfindlicher Stoffe und in diesem Sinne kann in der Optographie davon nicht die Rede sein, weil Entfernung des im Optogramm noch lichtempfindlichen Purpurs so viel heissen würde, wie Auswischen des Bildes. Die Trockenfixirung der Optographie ist etwas wesentlich Andres, da sie in der Umwandlung des noch lichtempfindlichen Materials in gegen Licht unempfindliche Stoffe, mit Erhaltung der Substanz und deren Farbe besteht. Die Sache liegt hier auch insofern anders, als das Optogramm kein Negativ, sondern ein Positiv ist, wenn man in einem auf Roth ausgesparten Bilde den Grund als dunkel bezeichnet, wozu einiges Recht vorhanden ist. Andrerseits stimmt das Optogramm mit dem direkten negativen Photogramm darin überein, dass die beleuchteten Stellen die zersetzten und nicht weiter empfindlichen sind, während die rothen denen entsprechen, deren ungehemmte

Digitized by Google

Zersetzung das Bild verwischen würde. Für das zu wählende Fixirverfahren entscheidet aber nicht die letztere, freilich tiefere Uebereinstimmung, sondern der erstere Gegensatz, weil es sich um den Zweck der Erhaltung des Bildes handelt, und es ist deshalb Gewicht darauf zu legen, dass beim Optogramm etwas erreicht werden muss, dessen das Photogramm nicht bedarf, nämlich die Indolenz des Stoffes, ohne ihn der Farbe zu berauben.

In dem Vorstehenden hoffe ich die optographischen Methoden, soweit sie die manuelle und chemische Technik betreffen, genügend erörtert zu haben, um Jedermann in den Stand zu setzen, sich deren Erzeugnisse zu verschaffen. Ich gehe darum zu den einzelnen Versuchen über, sowohl um Belege zu bringen, wie um dem optischen und physiologischen Gebiete gerecht zu werden.

Das erörterte, für Kaninchenaugen unumgängliche Alaunverfahren kam zufällig zum ersten Male in Anwendung bei einem Versuche, welchen ich als den der Desolation bezeichnen könnte. Als immer und immer wieder kein ordentliches Bild auf der ungehärteten Netzhaut zum Vorschein kommen wollte und ich bereits fürchten musste, die Bedeutung des Purpurs für das Sehen überschätzt zu haben, beschloss ich es einmal so zu machen, wie die Unbefangenheit selber zuerst an die Aufgabe getreten wäre. Ich fixirte ein lebendes Kaninchen so im Halter, dass der Kopf unbeweglich mit einem Auge gegen eins der vielen Fenster des Laboratoriums gerichtet war. Der Bulbus wurde durch in die Conjunctiva gelegte Fäden vollkommen festzustellen gesucht, die Lider durch einen federnden Halter geöffnet, in welchem zugleich ein schwarzer Pappstreifen mit einem 4 mm. weiten Rundloche als Diaphragma vor der Pupille befestigt war. So vorbereitet wurde der Kopf etwa 10 Min. mit einem schwarzen Tuche bedeckt, als dieses wieder entfernt worden, nach weiteren 2 Minuten vom Rumpfe getrennt, während ich das Auge mit der Hand zudrückte. Das letztere kam, im Dunkeln

Digitized by Google

exstirpirt und eröffnet, sofort in eine 5procentige Alaunlösung. Am dritten Tage hatte ich die Freude, in der abgezogenen Netzhaut das Bild des Fensters, auf das es abgesehen war, an dem bogenförmigen Abschlusse, als weisse Silhouette auf rothem Grunde, zwischen einigen kleineren, hellen Feldern wieder zu finden; es fehlte nur ein deutliches Bild der Rahmenkreuzung. Jetzt wurde sogleich an die weiteren Versuche gegangen, über welche zum Theil schon kurze Veröffentlichungen (Centralbl. l. c.) vorliegen und die hier mit geringen Erweiterungen der Darstellung wiedergegeben werden sollen.

Mein Plan zur Optographie am Lebenden, den ich fasste, bevor das Auge, von dem soeben die Rede war, zur Untersuchung kam, beruhte auf folgender Ueberlegung: Da das normale Sehen offenbar nur möglich ist, wenn steter Ausgleich zwischen dem Bleichen des Sehpurpurs in den Stäbchen und der purpurzeugenden Thätigkeit des Retinaepithels besteht, so wird man überdauernde Optogramme nur erwarten dürfen, wo jener Ausgleich gestört ist, also entweder nach so langer oder so intensiver Belichtung, dass das weiter functionirende Epithel die Stäbchen nicht genügend wieder zu röthen vermag, oder unter Umständen, wo das Epithel nichts mehr leistet. Das letztere war im Auge einige Minuten nach dem Tode zu erwarten, aber das Optogramm war aus einem mir in jenem Augenblicke noch unklaren Grunde ausgeblieben. So verfiel ich auf die Annahme, dass das todte Auge und darin vornehmlich die vorderen Retinaschichten für die chemisch wirksamsten Strahlen zu undurchgängig würden. Dies ist wahrscheinlich, scheint aber erst in 1 bis $1^1/_2$ Stunden nach dem Tode zuzutreffen, wie sich später ergeben wird. So musste also, meinte ich, durchaus am Lebenden experimentirt werden, allein ich fürchtete die Regeneration, die ich postmortal noch im Säugethierauge für mächtig genug hielt, um in der kurzen Frist vom Köpfen des Thieres bis zur Berührung der Netzhaut mit dem Alaun,

Digitized by Google

der mir zugleich ein gutes Mittel zum schnellen Abtödten des Epithels zu werden versprach, das Bild wieder zu verwischen. Es wurde deshalb der vorige Versuch an einem mit Curare vergifteten, künstlich respirirenden Hunde wiederholt, mit dem Unterschiede, dass er in einem einfenstrigen Raume stattfand und dass ich Sorge trug, das Auge sofort nach Schluss der Belichtung mit Alaun zu tränken, zu welchem Zwecke ich vorbereitet war mittelst eines im Leben mit der gleichseitigen Carotis verbundenen Injectionsapparates einen raschen Strom gewärmter Alaunlösung in den Kopf und in die Gefässe des Auges gelangen zu lassen. Die Halsgefässe, welche beim Abtrennen des Kopfes Injectionsmasse nach rückwärts austreten liessen, wurden schleunigst abgeklemmt. In dieser Weise wurde nur ein Versuch ausgeführt, weil sich inzwischen bei weiteren Experimenten am Kaninchen ergab, dass er für meine nächsten Zwecke der Wiederholung nicht bedurfte. Ausserdem war er ohne recht schlagenden Erfolg; es dürfte aber auf das Verfahren zurückzugehen sein, wenn es sich darum handeln wird die Aenderungen des Gleichgewichtes zwischen den Processen der Stäbchen- und der Epithelschicht genauer zu untersuchen.

Inzwischen war das schon erwähnte Fensterbild erhalten, das alle Befürchtungen unnöthig machte und die Ueberlegung, welche sie eingegeben, zurückwies. Der vorhin als Vermuthung hingestellte Zustand gestörten Ausgleiches zwischen Epithelfunction und Purpurbleichung musste demnach factisch existiren und ich denke, man wird ihn nicht widersinnig, sondern durchaus natürlich finden, man wird ihn annehmen müssen für alle Fälle, wo unser Sehvermögen in Folge von Blendung herabgesetzt oder aufgehoben ist, und wie leicht wir dahin gelangen, weiss Jeder, der sich aufs Fixiren und auf Nachbilder versteht. Ich möchte behaupten, dass wir nicht 30 Secunden ein grösseres, helleres Object bei behindertem Lidschlage fixiren können, ohne unfähig zu werden es zu sehen und

Digitized by Google

finde es nicht wunderbar, wenn das Säugethierauge bei minutenlang constanter, mässiger Belichtung da geblendet ist, wo im Bilde das Licht auf die Netzhaut fiel, ja soweit geblendet ist, dass der Purpur dort gar nicht mehr, oder sichtlich verfärbt gefunden wird und um so viel abgenommen hat, dass die Regeneration beträchtlicher Zeit bedarf, um ihn wieder kenntlich zu machen. Dies ist der Fall, wo wir das Optogramm annehmen müssen und finden werden, d. h. das Nachbild im eigentlichen Sinne des Worts.

Erwägt man, dass es sich bei der Optographie nur um Aenderungen der Stäbchen, nicht der Zapfen, die purpurfrei sind, handelt, also um Vorgänge an einem unzweifelhaft weit hinter der Vollkommenheit des Zapfenapparates und unseres Fixirorganes zurückstehenden Sehwerkzeuge, und dass die Unvollkommenheit unseres peripherischen Sehens trotz der Mithülfe zerstreuter, an den vorderen Retinaregionen vorkommender Zapfen in den meisten Beziehungen und gewiss deshalb auffällig ist, weil dabei wesentlich Leistungen der Stäbchen vorliegen, so wird man von der optographischen Methode, die vorwiegend auf der Unvollkommenheit der Regenerationsprocesse fusst, wohl erwarten dürfen, dass sie die mannigfachsten Sehakte verzeichne. Wie schnell bei gutem Fixiren indirekt gesehene Objecte verschwinden, ist bekannt und dürfte mehr noch, als die Dauer der Nachbilder für träge Regeneration in den Stäbchen, also in demselben Sinne zu deuten sein, wie die Lichtscheu der zapfenlosen oder zapfenarmen Geschöpfe. Sind diese letzteren des Purpurs beraubt, so bleiben sie eben so lange blind, bis das Epithel neuen geliefert hat, während die mit Zapfen versehenen Thiere mittelst des zweiten, vollkommeneren Apparates im Auge, der höchst wahrscheinlich auch allein specifisch farbige Empfindungen vermittelt, unter gleichen Umständen fortfahren zu sehen. An Fröschen, deren Netzhaut in der Sonne total gebleicht und im Dunkeln nicht vor 30 Min. wieder röthlich zu bekommen war, glaube ich

Digitized by Google

mich überzeugt zu haben, dass sie noch recht gut sehen und ich hoffe später Genaueres über deren Fähigkeit zur Unterscheidung von Farben berichten zu können. So weit bis heute die Erkenntniss reicht, ist eine Betheiligung des Purpurs am Farbensehen höchst unwahrscheinlich, obgleich natürlich zuzugeben ist, dass wir mittelst des Purpurs und der Stäbchen (ohne die Zapfen) das Spectrum nicht nur wahrnehmen, sondern auch in Grau schattirt, ähnlich wie der Farbenblinde, auffassen würden. Unsere Erfahrungen über das Vorkommen und Verhalten des Sehpurpurs sind so sehr in Uebereinstimmung mit *M. Schultze's* Hypothese von der physiologisch-chromatischen Bedeutung der Zapfen und Stäbchen, dass es nur des Hinweises darauf bedarf um alle Hoffnungen herabzustimmen, die man etwa auf die Optographie im Sinne specifischer Farbenwahrnehmung setzen mochte.

Gelänge es dagegen, wie bei der Photographie, die rothen Stäbchen zur Annahme und Wirkung auf photographische Entwickler zu bewegen, wo erst die leisesten Anfänge der Verfärbung des Sehpurpurs begonnen haben, so müsste es gelingen, Alles, was wir peripherisch hell und dunkel sehen, optographisch darzustellen, wenn anders die zahlreichen durcheinander klingenden Nachbilder des täglichen Lebens im Optogramm entwirrbar wären. Wie die chemische Nerventastatur der Stäbcheninnenglieder durch solche minimale Purpurzersetzungen zum Anschlage kommt, bleibt zwar so wunderbar, wie je zuvor, aber das Factum bürdet uns nichts Wunderbareres auf, als das, welches wir alle Tage an unseren Riechzellen erleben.

Trotz Regeneration des Purpurs im Leben wie im Ueberleben sind somit Optogramme intra vitam möglich: hier ist der Beweis.

Nachdem das vorhin erwähnte Fensterbild, das dafür hätte genügen können, erhalten, aber zufällig nur von 2 Personen

Digitized by Google

betrachtet war, wurde am 16. Januar 11 Uhr 40 Minuten ein farbiges Kaninchen aufgebunden, der Kopf gut fixirt und mit dem rechten Bulbus in Entfernung von 1,5 Meter vor einem viereckigen Ausschnitte im Fensterladen, von 23 Ctm. Höhe, 27 Ctm. Breite aufgestellt. Das Auge war nicht durch Fäden festgehalten, da sich herausstellte, dass Kaninchen es nach Einführung des Lidhalters gar nicht zu bewegen pflegen, wenn man kein Geräusch macht. Der Ladenausschnitt befand sich in der Höhe der untersten Scheibenreihe und war durch gewöhnliches Fensterglas gedeckt, während der Kaninchenhalter tiefer auf Stühle gestellt war. Die Richtung des Auges gegen den trüben und bewölkten Himmel wurde so erzielt, dass man mit dem Hinterkopfe im Ladenausschnitte nach der Cornea visirte und die Stellung des Kaninchens ausprobirte, bei welcher das Spiegelbild des Himmels an der Cornea, deren Centrum zu entsprechen schien. Anderes Licht fiel nicht in das Zimmer. Das Auge wurde 5 Minuten mit einem schwarzen Tuche bedeckt, 3 Minuten exponirt, der Kopf abgetrennt, der Bulbus vor der Natronflamme im anstossenden Dunkelzimmer eiligst exstirpirt, geöffnet und sofort in 4 p.ctg. Alaunlösung gelegt, was so rasch zu Stande kam, dass *Dr. Ewald* den zurückerhaltenen Kopf schon 2 Minuten nach Beendigung der Lebensexposition, mit dem linken Auge dem gleichen Verfahren unterziehen konnte. Die richtige Stellung des Auges zum Objecte musste hier einem glücklichen Griffe überlassen bleiben. Als am andern Morgen die milchweiss und zäher gewordenen Netzhäute vorsichtig im ganzen Umfange isolirt, vom Opticus abgeschnitten und gewendet wurden, zeigten sie auf prächtig rosenrothem Grunde je ein scharf berandetes, nahezu quadratisches, helles Bild, das im zweiten Auge ganz weiss, wie mit dem Lineal gezeichnet, im ersten noch hellrosa und etwas weniger scharf war. Die Grösse der Bilder, die beide auf den rötheren Netzhauttheil gefallen waren, betrug

Digitized by Google

etwas mehr, als 1 □Mm.; sie verschwanden natürlich in dem Maasse, wie beim Betrachten im Tageslichte der Grund ausblich, jedoch langsam genug, um sie mehreren competenten Zeugen vorlegen zu können. Der ersten Mittheilung dieses Versuches (l. c.) ist verbessernd hinzuzufügen, dass durch ein irrthümlich genommenes Maass der lichtgebende Ausschnitt als quadratisch und zu 30 Ctm. Seite angegeben ist. Erst als der Irrthum sich aufgeklärt hatte, wurde die Abweichung des Optogramms von der quadratischen Gestalt verständlich und ich erinnere mich deutlich, dass die längere Seite des Bildchens in die Richtung des oben beschriebenen, rothen Trennungsstreifen fiel, der horizontal in der Netzhaut liegt. Später wurde gelegentlich ein isolirtes Kaninchenauge unter sonst gleichen Umständen, vor dasselbe Object gehalten und darin ein Bildchen gesehen, das dem beschriebenen Optogramm vollkommen entsprach.

Um die gefundenen Optogramme mit grösster Sicherheit als solche, d. h. als Bilder wohl gekannter Objecte ansprechen zu dürfen, wurde in die Letzteren einige Abwechslung gebracht. Das Fenster meines optischen Zimmers schien dazu geeignet und um die Rahmung leichter kenntlich zu machen liess ich dieselbe durch angenagelte Bretter bis auf 22 Ctm. verstärken. Nachdem ich die unterste Scheibenreihe mit gelbem Glase verstellt hatte, befestigte ich ein albinotisches Kaninchen, dessen Auge nur mit einem Diaphragma belegt war, so hinter und unter dem Fenster, dass der Abstand der Cornea bis zur ersten farblosen Scheibe 1,75 Meter betrug. Brachte man das eigene Auge an die Stelle des Kaninchenkopfes, so sah man, schräg und aufwärts blickend, durch alle Theile des Fensters nur den Himmel. Die Entfernung bis zum Bogenschlusse des Fensters betrug mehr als 3 Meter. Wieder wurde das Thier einige Minuten mit einem Tuche bedeckt, durch Entfernen des letzteren, 3 Min. gegen den stark bewölkten, höchst trüben Himmel (11 Uhr) exponirt, decapitirt, das Auge sofort

Digitized by Google

exstirpirt, geöffnet in Alaun gelegt und 2 Min. später das andere Auge im Kopfe ebenso behandelt; hier war bei kurzer Betrachtung des umgestülpten Augengrundes im Tageslichte auf der schön rosafarbenen, schlüpfrig glänzenden Fläche kein Bild zu erkennen. Um so mehr überraschte der Anblick nach 24stündigem Liegen in Alaun: die Rückseite der Netzhaut dieses absterbend exponirten Auges zeigte das vollkommene Bild des Fensters, mit 2 Reihen viereckiger Ausschnitte und einer darüber befindlichen Halbmondfigur, weiss auf rothem Grunde, mit scharfen, rothen Kreuzen. Das Bild begann an dem rothen Trennungsstreifen der Retina und zeigte nach unten starke perspectivische Verkürzung, besonders der oberen Scheibenreihe und des Bogens. Da der Kopf normal auf dem Unterkiefer gelegen hatte, musste der oberste Theil des Fensters im Auge nach unten liegen, so wie es im Bilde gefunden wurde. Die starke Verkürzung in der Figur ist nach den angegebenen Entfernungen des untern und obern Fensterrandes vom Auge selbstverständlich und ein albinotisches Auge, das zum Vergleiche in derselben Lage gegen das Object gehalten wurde, lieferte mit seinem gleich gestalteten Bilde die Bestätigung dafür.

Der Versuch zeigt zugleich in sehr schlagender Weise, welche vortrefflichen Optogramme in der Stäbchenschicht vorhanden sein können, ohne dass sie sich beim Anblicke der Netzhaut von vorn verrathen, denn an diesem albinotischen Auge war auf dem einfach umgestülpten Grunde wohl die schönste Purpurfarbe kenntlich, aber, wie schon bemerkt, keine Schattirung wahrzunehmen, die auf ein Bild, geschweige denn auf ein so scharfes und immerhin recht grosses hätte schliessen lassen.

Auf der umgekehrten Netzhaut des ersten, im Leben exponirten Auges fand sich bei diesem Versuche kein ordentliches Optogramm, sondern nur eine kaum bemerkbare, fleckige Ausbleichung, von der es dahin gestellt sein mag, ob sie nach Grösse

Digitized by Google

und Anordnung dem, im andern Auge postmortal entstandenen Bilde entsprach. Die Lichtintensität war in beiden Versuchen, soweit der Augenschein darüber urtheilen liess, an dem trüben Himmel unverändert geblieben, das Wetter überhaupt so schlecht, wie denkbar, aber gerade darum sehr geeignet, um die Differenz der Lichtwirkung intra vitam und post mortem zu zeigen. Genügten die Umstände im ersteren Falle zur Optographie nicht, so konnte es nur daran liegen, dass im Leben die Regenerationsvorgänge mächtiger sind, als im Ueberleben, und dass die letzteren im ersten Falle bei der grade vorhandenen Intensität und angewendeten Belichtungszeit noch ausreichten, um an Stelle des entfärbten Purpurs neuen zu setzen.

Seit diesem Versuche habe ich noch mehrere in ähnlicher Weise am Lebenden z. Th. mit gutem Erfolge ausgeführt, doch muss ich mich an dieser Stelle beschränken, nur im Allgemeinen mitzutheilen, dass es guten Lichtes bedarf, um nach einigermaassen kurzer Zeit (3—5 Min.), wie es aus manchen Gründen für das Experimentiren am unvergifteten Thiere wünschenswerth ist, auf scharfe und farblose Optogramme rechnen zu dürfen. Da die Ausbildung der Optographie am Lebenden erst die Methode schafft, um dem photochemischen Processe des Seheactes nachzugehen, erfordert sie sorgfältigere Bearbeitung, als ich augenblicklich zu bieten vermag.

Dass die postmortale Optographie keine ernsten Schwierigkeiten bietet, erhellt aus dem Vorigen. Ich habe selbst leider lange nicht geahnt, dass das Experiment, dessen Aufnahme unter die Vorlesungsversuche in Zukunft anzunehmen ist, so einfach sei, wie es in Wirklichkeit ist. Man bedarf dazu nur eines frischen Auges und eines geeigneten, gegen den Himmel zu richtenden Objectes. Tageslicht reicht immer aus, auch das schlechteste. Wer Oberlichter benutzen kann, braucht entweder gar keinen Apparat, oder höchstens einen dunkeln Kasten, zu dem

Digitized by Google

das Object den Deckel bildet. Um Kopf, Auge und Object schräg zum Himmel zu richten, ist eine geeignete Vorrichtung einfachster Art wünschenswerth.

Unter den hiesigen Räumlichkeiten benutze ich gern einen grösseren Saal von 18 Met. Tiefe, der von zwei gegenüberliegenden Seiten durch je 3 grosse Fenster, von der Mitte der Decke durch 2 horizontale Fenster Licht von oben erhält. Die zum Object dienenden Oberlichter sind matt verglast und werden durch ein nach Norden gerichtetes, schwach geneigtes Glasdach von bedeutender Grösse erhellt. Der eiserne Rahmen dieser Fenster, mit sehr dünnen Kreuzen, hat 3,16 Met. und 2,27 Met. Seite und befindet sich 3,98 Met. über dem Auge, wenn ich dasselbe auf den gewöhnlich dazu benutzten Tisch lege. Parallel mit der kurzen Seite des Oberlichtes wurden in gleichem Abstande von der Mitte 60 Ctm. breite Bretter über die Scheiben gelegt, um einige Anhaltspunkte mehr im Optogramm zu bekommen. Im Kaninchenauge erhalte ich auf solche Weise weiss ausgesparte, ziemlich genaue Rechtecken von 6 und 4 mm. Seite mit zwei sie rechtwinklig kreuzenden, rothen Streifen von 1—1,3 mm., falls das Auge mit nahezu senkrechter Sehaxe gegen die Mitte der Lichtöffnung gestellt wurde, was am Bulbus leicht durch Auflegen auf die Oeffnung eines Gläschens, beim Kopfe durch eine weiche Tuchunterlage erreicht wird. Sind die Bilder recht scharf und in einer tief rothen Netzhaut, so enthalten sie seitlich gelegen das des zweiten Oberlichtes in Form eines schmalen Trapezes, perspectivisch verkürzt. Oefter habe ich auf einer Seite noch die 3 Lichtstreifen, welche die Seitenfenster an die Decke werfen, angedeutet gefunden. Im Ochsenauge erzielte ich unter gleichen Umständen Bilder von 17—18 mm. längster Seite, also 3 mal grössere, als im Kaninchenauge. Um das Auge vor der Belichtung einzustellen, genügt jede zur Hand befindliche Bedeckung, ein Kästchen, ein dunkles Tuch u. dergl. Obwohl es

Digitized by Google

nicht gerade nöthig ist, thut man zur Gewinnung schärferer Bilder gut, das Auge in den Mittelpunkt eines geschwärzten Pappringes zu legen; ich nehme denselben 40 Ctm. weit und etwa 40 Ctm. hoch. Nach einer grossen Zahl so angestellter Versuche, welche besonders zur Kenntniss der richtigen Expositionszeit und der nöthigen Frische der Augen führen sollten, vermag ich über die erstere leider sehr wenig anzugeben. Dem Vernehmen nach geht es erfahrenen Photographen damit nicht besser; man bekommt einen gewissen Blick für die Beschaffenheit des Himmels und richtet sich darnach, ohne andere Regeln angeben zu können. Ich habe bei jedem Wetter Optogramme erhalten, bei Regen, Schnee und Hagel, und von 1 bis zu 20 Minuten mit Erfolg exponirt. Die Zeit von 11—2 Uhr schien mir immer die beste, der Nachmittag dem Morgen stets nachzustehen. Je intensiver das Licht ist und je kürzer die Exposition zu sein braucht, desto besser werden die Optogramme. Hinsichtlich der Zeit nach dem Tode stellte sich ganz allgemein heraus, dass die Exposition immer anfänglich die längste sein muss, dann kürzer, nach einiger Zeit wieder länger zu nehmen ist. Ist z. B. ein eben getrennter Kaninchenkopf mit dem ersten Auge 5 Minuten zu exponiren, so erhält man beim zweiten, sofort darauf, in 3 Minuten ein Bild von gleicher Schärfe und den Grund von gleicher Purpurfärbung, während man unter gleichem Lichte bei einem 30 Minuten alten Kopfe wieder 5—7 Minuten, nach 1 und $1^1/_2$ Stunden noch mehr braucht. Ich will zwar nicht behaupten, dass Augen, die eine Stunde und darüber im abgetrennten Kopfe verweilt haben, keine Optogramme mehr geben können; um ein gutes Bild zu erhalten dürften aber 60—90 Minuten die Grenze sein; Ochsenaugen scheinen nicht länger als 1 Stunde tauglich zu bleiben, doch habe ich mit denselben niemals anders als nach dem Herausnehmen gearbeitet, was beim Kaninchen die Zeit der Brauchbarkeit abkürzt. Wahrscheinlich wird auf letztere die Temperatur grossen

Digitized by Google

Einfluss haben. Um Andern Mühe und Zeit zu sparen, ist noch hinzuzufügen, dass man im eben getrennten Kopfe, der öfter schnappende Bewegungen macht und Zuckungen an den Augen zeigt, zur Verhütung dieser Gefahr für die Optogramme das Hirn mit einer elastischen Sonde gründlich zerstören muss.

Die Bedeutung der unmittelbar nach dem Tode unumgänglichen Nothwendigkeit, die Exposition länger zu nehmen, als etwas später, scheint mir in dem Fortbestehen des Regenerationsvermögens zu liegen, das vermuthlich um so länger anhält, je weniger das Auge berührt wurde, also im Kopfe länger, als im isolirten Bulbus, in diesem länger, als im eröffneten Auge, während ich für das viel später sich geltend machende Bedürfniss die Belichtungszeit wieder und mehr zu steigern, als im Zustande des Ueberlebens, auf die Annahme zurückkomme, dass die trüb gewordenen Medien mit Einschluss der Retina jetzt vorzugsweise langwelliges, den Purpur sehr langsam zersetzendes Licht durchlassen. Ein anderer Grund dürfte kaum zu finden sein, denn wenn man solche abgestorbene Augen, die kein Optogramm mehr geben, betrachtet, so sieht man auf der Sklera Bilder, die den anfänglichen kaum nachzustehen scheinen. Dass hier die Netzhauttrübung wesentlich sei, bezweifle ich nicht, weil man an Netzhäuten, die mehr als eine Stunde alt sind, deutlich sehen kann, dass sie auf einer Porcellanplatte rascher ausbleichen, wenn man sie mit der Stäbchenseite gegen das Licht, als wenn man sie umgekehrt hinlegt, eine Differenz, die an frischen Netzhäuten der Säuger oder an der Retina des Frosches kaum wahrzunehmen ist.

Zuweilen bekommt man Optogramme, die durch einen eigenthümlichen Umstand entweder verschärft oder verdorben sind. Nach langer Belichtung besonders heben sich an den Alaunpräparaten häufig schwarze Pigmentfetzen mit der Retina ab, die nicht zu entfernen sind und entweder vom Bilde etwas verdecken,

Digitized by Google

oder so an den Grenzen scharf absetzen, dass das Bild im positiven wie im negativen Sinne verschärft erscheinen kann. Dasselbe ist mir einige Male bei im Leben aufgenommenen Optogrammen vorgekommen und dürfte dort doppeltes Interesse bieten, weil die von *Czerny* zuerst bemerkte Beweglichkeit des Pigmentes zwischen den Stäbchen, die, wie ich jetzt schon sagen kann, in einem gewissen Zusammenhange mit der Belichtung und mit den restitutiven Vorgängen nach der Belichtung steht, dabei im Spiele zu sein scheint. Für mich enthielt die Thatsache die Nöthigung, zu prüfen, ob nicht Optogramme gewissermaassen umgekehrt entstehen können, indem die Stäbchen bei der Trennung vom Epithel an der Retina abreissen und im dunklen Augengrunde, wo man ihre Farbe übersehen würde, stecken bleiben; die correspondirenden Stellen der Netzhaut würden dann auch farblos sein. So oft ich indess mit der Flachscheere aus den weissen Stellen der Optogramme Läppchen der hinteren Retinafläche abschnitt, habe ich die im Alaun sehr kenntlich bleibenden Stäbchen niemals vermisst. Ueberall wurde der Rasen dieser Gebilde continuirlich gefunden, im weissen Theile so gut, wie in dem rothen.

Weit schlagendere und zierlichere Bilder, als die vorhin besprochenen, habe ich von kleineren, stark genäherten Objekten erhalten, die mit Hülfe des erwähnten Pappringes über die Augen gelegt wurden. Der Pappring bestand aus zwei ineinander verschiebbaren Ringen, so dass die Entfernung des die Objecte tragenden Deckels, wozu eine matte Glastafel oder auf Rahmen gespanntes Oelpapier diente, von 18—30 Ctm. zum Auge gewechselt werden konnte. Mit diesem sehr primitiven Apparate habe ich die meisten Optogramme hergestellt, gewöhnlich unter freiem Himmel. Auf dem matt durchsichtigen Deckel wurden die Objecte aus schwarzem, undurchsichtigem Papier gebildet, indem z. B. Streifen von 4 Ctm. Breite in ebensolchen Abstän-

Digitized by Google

den neben einander lagen. Ueber diese kamen Pappscheiben mit quadratischem, dreieckigem oder kreisförmigem Ausschnitt, so dass man durch Verstellung der eckigen Diaphragmen zur Richtung der Streifen, oder durch Drehung des ganzen Objects zur Kopfaxe die mannigfaltigsten Bilder erzeugen konnte. Es würde zwecklos sein, über alle so erhaltenen Optogramme zu berichten, denn sie stimmten sämmtlich darin überein, dass sie die zu erwartenden verkleinerten Copieen der einfachen geometrischen Figuren darstellten. Waren die Augen schief untergelegt, so zeigten die Optogramme entsprechende Verzerrungen.

Es kann nicht die Aufgabe der physiologischen Optik sein, die Optographie zu der Vollkommenheit zu bringen, deren sie unter den geschickten Händen photographischer Techniker fähig sein mag. Ich habe mir aber das Vergnügen nicht versagen mögen, einige complicirtere Objecte optographisch aufzunehmen, so die Gartenseite des hiesigen Laboratoriums und ein menschliches Bildniss. Beide lassen bis heute viel zu wünschen übrig; von dem Hause war die Fensterreihe unverkennbar, an dem Kopfe (das Object war die S. 76 erwähnte, sehr grosse Photographie auf Glas) nur die Umrahmung, die Haargrenzen, Bart und Hemdkragen. Wer Musse dazu hat wird wahrscheinlich mehr erreichen und mit solchen Objecten annähernd ermitteln können, bis zu welcher Grenze die photochemische Zersetzung des Sehpurpurs Unterschieden der Lichtintensität folgt.

Digitized by Google

Erklärung der Tafel I.

Die nebenstehenden Abbildungen machen nicht den Anspruch, genau zu sein, wie es von bildlichen Darstellungen zu wissenschaftlichem Gebrauche gewünscht wird, denn es hat bisher kein Zeichner Garantie für die Treue der Handcopie einer flottirenden Membran, deren Aussehen sich beim Betrachten fortwährend ändert, übernehmen wollen. Die Abbildung getrockneter Optogramme auf convexer Unterlage von kleinem Radius hätte vollendetere Technik erfordert, um mehr als Das zu zeigen, worauf es ankam. Zur Verdeutlichung des im Texte Gesagten dürften die aus dem Gedächtnisse unter Anfrischung desselben durch neu hinzugekommene Präparate, welche eine Reihe von Modellen bildeten, noch willkommen sein.

Fig. 1. Kaninchennetzhaut ohne Optogramm.

a. Ausschnitt mit dem Locheisen an Stelle des Sehnerveneintritts;

b. weisser Streifen der markhaltigen Opticusfasern, worin rothe Linien die Blutgefässe bezeichnen.

c. der rothe Trennungsstreif, darüber die blassere, darunter die intensiver purpurrothe Netzhauthälfte.

Fig. 2. 3. 4. 5. Optogramme:

2 eines Ladenausschnittes (S. 94).

3 eines Bogenfensters (S. 96).

4 eines Oberlichtes (S. 98).

5 eines näheren Streifenobjectes (S. 101).

Die Abbildungen beziehen sich auf Alaunpräparate.

Digitized by Google

Digitized by Google

RADCLIFFE LIBRARY
21 JUL 82
OXFORD

Ueber die Verbreitung des Sehpurpurs im menschlichen Auge.

Von **W. Kühne.**

Durch die gütigen Bemühungen eines befreundeten Arztes ist mir die kaum erwartete Gelegenheit geworden, menschliche Augen von so vollkommener Erhaltung zu untersuchen, dass ich mit grösserer Sicherheit als früher (Heft 1, S. 35) die Verbreitung des Sehpurpurs in denselben zu bestimmen vermochte. Der Tod der etwa 40jährigen, an Lungenphthisis leidenden Patientin war Nachts in einem unbeleuchteten Zimmer eingetreten und ich erhielt die im Natronlichte exstirpirten Bulbi am andern Mittage nach sorgfältigster Conservirung derselben in Eis.

Die Cornea zeigte keine nennenswerthe Trübung und das ganze sehr schwach pigmentirte Auge mit zarter Sklera und blauer Iris war so durchsichtig, dass man von vorne den Hintergrund mit der Papille und den Gefässen vortrefflich sehen konnte, wenn es gegen die Natronflamme gerichtet wurde. Dem entsprechend schimmerte bei umgekehrter Stellung und passender Entfernung der Flamme deren Bild deutlich durch die Sklera.

Nach Halbirung der Augen im Aequator gelang die vollständige Entleerung des Glaskörpers leicht, und unter Salzwasser gebracht erschienen die Hintergründe vollkommen glatt, ohne Plicae centrales, während man bei kurzer Beleuchtung mit der Gasflamme den gelben Fleck und die Fovea centralis schwach

Digitized by Google

angedeutet erkennen konnte. Ebenso meine ich bei der ausserordentlich geringen Pigmentirung dieser Augen eine durch den Sehpurpur bedingte Nuancirung des hellbräunlichen Grundes in situ wahrgenommen zu haben, der Art, dass die Fläche nach dem Abheben der Netzhaut auffällig weniger röthlich erschien. Nach Behandlung der Papille mit dem Locheisen liessen sich die Retinae zwar ohne Risse und pigmentfrei, aber nicht so leicht wie gewöhnlich an Leichenaugen abziehen. Auf ein grosses Deckglas ziemlich glatt ausgebreitet zeigten sie vortreffliche Purpurfarbe, etwa so, wie die Netzhaut des Kaninchens. Am gelben Flecke und in der ausserordentlich deutlichen Fovea war keine Spur von Röthe zu erkennen und im Umkreise von etwa 2 Mm. um die Macula war die Purpurfärbung auffällig schwach.

Erst bei der mikroskopischen Betrachtung zeigte sich, wie ausserordentlich vollkommen die zartesten Elemente der Netzhaut erhalten waren, denn es fand sich nicht nur an der Fovea keine Substanzlücke, sondern es war hier die Mosaik der feinsten, dichtgedrängten, langen Zapfen und weiterhin die der von Stäbchen umkränzten Zapfen in der Macula mit solcher Schärfe zu sehen, wie dieses in *Max Schultze's* bekannter Abbildung dargestellt ist.

Im Beginne der Beobachtung, welche in möglichst gedämpftem Tageslichte vorgenommen wurde, waren auch nur wenige Krümmungen und Hirtenstabformen an den Aussengliedern der Stäbchen und Zapfen zu bemerken. Selbstverständlich erschien die gelbe Färbung der vorderen Netzhautschichten der Macula bei dieser Art der Betrachtung sehr ausgeprägt, mit schärferer Begrenzung gegen die Fovea, als gegen die äusseren Theile. In der Fovea war davon nichts wahrzunehmen. Während man an den aufgerichteten Stäbchen der peripheren Netzhauttheile den Purpur auch mikroskopisch vollkommen zu erkennen vermochte, war es nicht möglich, irgend welche Färbung an der Fovea zu constatiren. Die Betrachtung der Stäbchenflächen im gelben

Digitized by Google

Flecke führte zu keinem recht entscheidenden Urtheile, weil die gelbe Unterlage störte, aber ich kann auf das bestimmteste angeben, dass die Stäbchenaussenglieder der äusseren, noch gelben und vollends der nächst äusseren, vorher kaum als gefärbt erkennbaren Regionen, roth erschienen, als durch Zerren mit der Nadel Falten auf der Fläche erzeugt waren, an denen viele solche Stäbchen übereinander geschichtet auf der Seite lagen. Eine Falte, die mitten durch die Fovea und die centralen Theile der Macula gefallen war, liess dort aber kein Roth auftauchen. Wo das Letztere überhaupt zum Vorschein kam, verschwand es, wie der übrige Sehpurpur, bei längerer, schwacher Belichtung, indem es zunächst in gelbliches Chamois überging.

Am vorderen Abschnitte der Bulbi fand ich die Grenze des Purpurs, wie früher, in diesem Falle 3—4 Mm. hinter der Ora serrata und die Pars ciliaris natürlich frei von entsprechender Färbung.

Grüne Stäbchen, wie die von *Boll* im Froschauge entdeckten, waren in der menschlichen Netzhaut nicht zu finden, ebensowenig graue oder farblose zwischen den rothen, denn wo nur ein farbloses Element in den röthesten Theilen zum Vorschein kam, war dasselbe nach aussen, an dem geringeren Durchmesser und bei tieferer Einstellung, an der Gestalt des Innengliedes als ein zwischen den Stäbchen stehender Zapfen zu erkennen.

Nach diesen Beobachtungen dürfte die für die ganze Thierreihe gültige Thatsache der Abwesenheit des Sehpurpurs in den Zapfen auch für das Auge des Menschen unzweifelhaft sein. Dagegen wird es erneuerter Untersuchungen bedürfen, um festzustellen, ob in der Macula lutea, wenigstens nahe der Fovea, nicht echte Stäbchen ohne Purpur vorkommen, eine Frage, welche auch für die dem blossen Auge farblos erscheinende Zone an der Ora serrata noch der Beantwortung harrt. In unserem Falle war es für die letztere Untersuchung, während des Aus-

Digitized by Google

messens am Lichte, leider zu spät geworden. Wie im Vogelauge um intensiv und lichtbeständig pigmentirte Zapfen gruppirt, purpurfreie Stäbchen vorkommen, so könnten sich solche auch beim Menschen hinter dem nicht bleichungsfähigen, gelben Schirme der Macula finden, wenigstens da, wo derselbe kurzwelliges Licht am vollkommensten ausschliesst. So bevorzugten Stäbchen könnte dann auch für die Vermittlung farbiger, wenigstens dem rothen Spectraltheile entsprechender Empfindung, etwas von der Bedeutung zukommen, welche man, nach den jetzt am Menschenauge festgestellten Verhältnissen, wohl allgemeiner (vergl. S. 93) unbedenklich den purpurlosen Zapfen zuschreiben wird.

Heidelberg, den 21. April 1877.

Digitized by Google

Weitere Beobachtungen über den Sehpurpur des Menschen.

Von **W. Kühne.**

Am 24. d. M. war ich abermals in der Lage, frische menschliche Augen von gleicher Conservirung, wie die in der vorigen Mittheilung beschriebenen, zu erhalten. Die 22 Jahre alte Patientin war am Tage zuvor Mittags einem Ileotyphus erlegen; 10 Minuten vor dem Tode war das Krankenzimmer verdunkelt und es war in die wiederum an der Natronflamme exstirpirten Augen kein Licht gefallen, bis dieselben einen Tag später, 10 Uhr Morgens zur Untersuchung kamen. Während einer längeren Reise war die Eisconservirung mit Hülfe einer zweckmässig construirten Eisbüchse, die für den Zweck in transportabeler Gestalt angefertigt war, fortgesetzt worden.

An den Augen war die graugrünliche Iris durch die klare Cornea noch scharf zu erkennen, ebenso die helle Scheibe des eintretenden Sehnerven, wenn man von vorn gegen die Natronflamme blickte; dagegen war bei der ziemlich starken Entwicklung des Pigmentes nichts von den Gefässen des Augengrundes zu bemerken, obwohl die Flamme nach Umkehrung des Auges ihr Bild deutlich auf der hinteren Sklerafläche verzeichnete. Beim Eröffnen des ersten Auges durch den Aequatorialschnitt schlüpfte die hintere Retinahälfte mit einem grossen Theile des Glaskörpers heraus, indem sie in ziemlich weitem Umkreise um die Papille

Digitized by Google

und den gelben Fleck abriss; bei dem andern Auge gelang das Herausnehmen besser, aber in keiner Weise war es möglich, die vom Pigmentepithel leicht ablösbaren Netzhäute vom Glaskörper zu befreien: jedes kleinste Stückchen blieb hartnäckig an einem Klumpen des letzteren hängen, ein eigenthümliches Verhalten, das sich auch an 2 Tage feucht in der Zimmerwärme aufbewahrten Proben nicht änderte.

Den Purpur dieser Augen fand ich ausserordentlich blass, in der Aequatorialgegend geradezu hell lila, wie stark verdünnte, aber unbelichtete Purpurlösungen aus der Retina von Dunkelfröschen aussehend, während die Färbung im Hintergrunde, unweit der Macula lutea besser entwickelt war. Ob die Allgemeinerkrankung diesen mir neuen Zustand bedingte, ob die Effecte der Belichtung 10 Min. vor dem Tode durch die epitheliale Regeneration nicht mehr verwischt werden konnten: diese und andere sich aufwerfende Fragen vermag ich nicht zu beantworten; aber ich darf darauf aufmerksam machen, dass die letztere Auffassung nicht wohl zu vereinen ist mit der intensiveren Färbung der Gegend des Augengrundes, in welcher Reste von Optogrammen eher zu vermuthen waren, als in dem ganzen Umfange des aequatorialen Ringes, wenn man nicht die Annahme machen will, dass die Epithelfunction am Aequator zuerst erloschen sei. Uebrigens war der Purpur auch an den best gefärbten Stellen so wenig entwickelt, dass er bei der mikroskopischen Untersuchung wohl kenntlich, aber doch nicht deutlich genug erschien, um hinreichende Gegensätze gegen die purpurfreien Stellen der Fovea und des centraleren Theiles der Macula darbieten zu können. Einen grossen Theil der Netzhäute habe ich daher zur Anstellung von Bleichungsversuchen verwendet, in Ermangelung unbedeckten Sonnenlichtes nicht im Spectrum, sondern bei Gaslicht, hinter den pag. 64 u. 65 dsr. Unters. beschriebenen farbigen Lösungen, wozu eben die schwache Retinafärbung besonders geeignet schien.

Digitized by Google

Im Blau-Violet sah ich den Purpur schon nach 8 Min. nahezu, nach 12 Min. vollkommen verschwinden, im Grün nach 20 und 25 Min.; im Roth war die Differenz gegen ein gleichfarbiges, im Dunkeln zur Controle aufbewahrtes Retinastück erst nach 3 Stunden bemerkbar, nach 5 Stunden der Uebergang in helles Chamois sehr deutlich, und erst nach 8 Stunden war hier die Farbe vollkommen gewichen. Unterschiede im Verhalten des menschlichen Sehpurpurs zum farbigen Licht gegenüber dem der übrigen Wirbelthiere sind hiernach kaum wahrscheinlich.

Bei der mikroskopischen Untersuchung der Netzhäute gelang es nur an dem ersten Auge, wo der betreffende Lappen im Augengrunde haften blieb, die Macula mit der Fovea heil und glatt in die feuchte Kammer zu bringen, während die andere Netzhaut in der Fovea einen Substanzverlust von ovaler Gestalt erlitt. An beiden Augen überraschte mich die sehr geringe Ausdehnung der gelben Färbung, die nur etwa die Hälfte der in den früher untersuchten Augen beobachteten zu betragen schien, und während ich früher die ganze Fovea im Gegensatze zu *M. Schultze*'s colorirter Abbildung, in flacher Ausbreitung, von hinten gesehen nicht erkennbar durch die vorderen Retinaschichten gelb tingirt finden konnte, erstreckte sich hier das Gelb bis fast in's Centrum, so dass höchstens ein Kreis, dessen Durchmesser etwa 10—12 Zapfen einnahmen, sich ganz ungefärbt zeigte. Dazu fand sich noch ein Unterschied, indem in der ganzen Ausdehnung des gelben Fleckes und sogar dessen Peripherie etwas überschreitend, nur eine Art dicht gedrängter Elemente zu sehen war, nämlich, wie ich nicht zweifle, nur Zapfen. Erst im Umkreise der Macula, wo keine Spur von Gelb mehr zu sehen war, begannen die bekannten Figuren der in einiger Entfernung um die Zapfen gestellten Stäbchenkränze. An den letzteren fiel mir ausserdem auf, dass die Durchmesser der cylindrischen Aussenglieder geringer waren, als die der Zapfen, und zwar auch dann

Digitized by Google

noch, wenn man auf einen ziemlich weit hinter der Basis der conischen Zapfenaussenglieder gelegenen optischen Querschnitt einstellte. Ebenso auffällig war der etwa gleich starke Durchmesser der Zapfenenden mitten in der Fovea.

Es ist nicht festzustellen, ob die letztgenannten Abweichungen etwas mit der typhösen Erkrankung zu schaffen haben, was hinsichtlich der Zapfendicke und der Verbreitung des gelben Pigmentes ja denkbar ist; dass aber die Anordnung der Stäbchen und Zapfen, wie ich dieselbe bis jetzt gefunden, individuelle Differenzen beim Menschen in der Construction der lichtempfindlichen Retinaschichten aufdeckt, dürfte nicht bezweifelt werden.

Bei der geringen allgemeinen Purpurfärbung der beschriebenen Augen war auf deren Unerkennbarkeit im hinteren Umfange der Ora serrata, die mir hier wieder begegnete, kaum Gewicht zu legen und vollends musste ich darauf verzichten, die Abwesenheit des Purpurs durch mikroskopische Betrachtung der nach rückwärts aufgerichteten Stäbchen dieser Retinagegend zu constatiren. Indess habe ich nicht versäumt mir diese Theile in dem günstigen, frischen Zustande genauer anzusehen, den das Aussehen der trotz ihrer Vergänglichkeit wohl erhaltenen Zapfen überall sicherte, und ich muss sagen, dass mich der Stäbchenreichthum sowohl, wie die Menge der freilich im Baue modificirten, zapfenartigen Gebilde an der Ora serrata einigermassen überraschte. Wenn ich bisher an den menschlichen Augen im Allgemeinen eine mehrere Millimeter breite Zone hinter der Ora ganz purpurfrei fand, so kann ich nach den eben genannten Beobachtungen nicht mehr zweifeln, dass dies nicht auf Stäbchenarmuth, sondern auf Mangel an Purpur in den reichlich vorhandenen Stäbchen beruht.

Zu meinem Bedauern wurden Messungen der Fovea und des gelben Fleckes, welche zu anderen Untersuchungen weitere Verwendung fanden, in diesem, wie in den früheren Fällen versäumt

Digitized by Google

und ich muss mich darum auf die Angabe beschränken, dass an den hier besprochenen Augen, ganz abgesehen von der Ausbreitung der gelben Färbung, die Entfernung der ersten Stäbchenkränze vom Centrum der Fovea gerechnet, gewiss das Doppelte, wenn nicht mehr betrug, als an der in der vorigen Mittheilung geschilderten Retina. Wie ich selbst suchen werde, bei künftigen Gelegenheiten diesen Mangel zu ersetzen, so werden hoffentlich andere Beobachter, welche öfter das Glück haben, frische menschliche Augen zu untersuchen, gern ihre Aufmerksamkeit auf die jetzt sehr zu vermuthenden häufigeren, individuellen Unterschiede im Baue des wichtigsten Theiles unserer Netzhaut richten.

Heidelberg, den 22. Mai 1877.

Digitized by Google

Zur Chemie der Altersveränderungen der Linse.

Von Dr. med. **Max Knies.**

Die chemische Analyse der menschlichen Linse in ihren verschiedenen Entwicklungsstadien, speciell die Kernbildung, ist bis jetzt eigentlich noch nie Gegenstand ernsterer Untersuchung gewesen. Und doch liegt die Wichtigkeit einer Kenntniss derselben für viele physiologische und pathologische Vorgänge so auf der Hand, dass es unnöthig wäre, weitere Worte darüber zu verlieren.

Während die bisherigen Versuche neben der schwierigen Beischaffung des nöthigen Materials hauptsächlich daran scheiterten, dass eine Verunreinigung, mit Blut besonders, nicht zu vermeiden war, wenn ohne die Kapsel extrahirte Linsen verwendet werden sollten (vergl. *Becker*, Graefe-Sämisch's Handbuch der Augenheilkunde IV. pag. 197), ist eine irgend erhebliche Menge menschlicher Linsen mit der Kapsel fast gar nicht zu erlangen. Andere als menschliche Linsen zu verwenden, verbot aber der Umstand, dass zur genügenden Kernbildung ein gewisses absolutes Alter erforderlich ist, das von den zu Gebote stehenden Versuchsthieren nicht erreicht wird. Nachdem aber durch *Kühne's* Methode der Verdauung die einer chemischen Analyse der Linsenkerne im Wege stehenden Hindernisse, soweit sie auf der angegebenen Verunreinigung des Materials beruhen,

Digitized by Google

eliminirt sind, habe ich auf Veranlassung dieses meines verehrten Lehrers eine chemische Untersuchung der Substanz des Linsenkernes unternommen.

Das Material hierzu bestand in ca. 150 ohne die Kapsel extrahirten cataractösen Linsen, die von Professor *Förster* in Breslau extrahirt und durch die Güte von Professor *Cohnheim* ebendaselbst in den Besitz von Prof. *Kühne* gelangt waren; sie waren in Alkohol aufbewahrt worden. Da die Aufbewahrungsflüssigkeit möglicherweise öfters gewechselt worden war und die Bestandtheile des Linsenkernes eben nur vermuthet werden konnten, so wurde von einer quantitativen Analyse abgesehen. Zudem war durch die Aufbewahrung in Alkohol eine Bestimmung des ursprünglichen Gewichtes und des Wassergehaltes unmöglich geworden.

Die Linsenkerne wurden nach völliger Erschöpfung mit Alkohol und darauf mit Aether in Wasser einmal aufkochen gelassen, um die Verdauung zu erleichtern, die durch einen etwaigen Aethergehalt des Materials etwas erschwert worden wäre. Sowohl der Alkohol-, als auch der Aetherauszug war quantitativ sehr unbedeutend; ersterer bestand wesentlich aus sogenanntem Myelin, letzterer vorwiegend aus Fett, zum Theil in Krystallen. Die so charakteristischen Cholestearinkrystalle fehlten in beiden vollständig.

Am 5. Juni wurden die so behandelten Linsen Morgens um $^1/_2$ 10 Uhr mit 100 Cubikcentimeter Salzsäure von 0,2 % und 1 Cubikcentimeter Pepsinglycerin bei 40° C. der Verdauung unterworfen. Am 6. Juni Morgens waren die Corticalisreste alle gelöst; es blieben die jetzt alle ziemlich gleich grossen und gleichmässig braun gefärbten Kerne übrig. Die überstehende Flüssigkeit wurde klar abgegossen und die Linsen von Neuem mit 100 Cubikcentimeter Verdauungsgemisch behandelt. Da bis Nachmittags 4 Uhr keine wesentliche Veränderung zu bemerken

Digitized by Google

war, so wurden die Kerne im Porzellanmörser möglichst zerrieben, was bei der Härte derselben ziemlich schwierig war.

Die wieder in den Verdauungsapparat zurückgebrachte Masse zeigte sich am 7. Juni früh Morgens bis auf einen unbedeutenden flockigen Niederschlag völlig gelöst. Zur Erleichterung der Trennung von Flüssigkeit und Niederschlag liess man letztern nach dem Erkalten erst völlig absetzen und filtrirte dann. Die Flüssigkeit gab die Reactionen des Peptons und unterschied sich in Nichts von einer durch Eiweissverdauung erhaltenen Peptonlösung. Der Niederschlag, der grösstentheils amorph war und nur spärliche Reste veränderter, aber noch kenntlicher Linsenfasern enthielt, wurde auf dem Filter gut ausgewaschen und dann mit einer Sodalösung von $^1/_2$ % behandelt. Es löste sich hierbei der grösste Theil des Niederschlages auf und beim Ausäuern ergab sich erst beim ziemlichen Ueberschuss von Essigsäure ein flockiger Niederschlag, der demnach in seinem Verhalten dem sogenannten Nucleïn entsprach. In wie weit in demselben auch Mucin enthalten war, liess sich bei der geringen Menge und dem Mangel an entscheidenden Reactionen natürlich nicht feststellen. Mikroskopisch war der Niederschlag völlig amorph und eine etwaige Wägung wäre bei der geringen Menge voraussichtlich resultatlos geblieben und wurde deshalb auch nicht vorgenommen.

Bekanntlich war die bisher allein versuchte Erklärung über die Kernbildung die, dass derselben eine Verhornung, eine Umwandlung in Keratin entspreche (vergl. *Becker* l. c. pag. 263). Es stützte sich diese Meinung hauptsächlich auf theoretische Speculationen und auf die Analogie in Aussehen und sonstigem Verhalten mit der Epidermis, mit der ja die Linse genetisch völlig identisch ist. Die vorliegende Untersuchung hat aber nachgewiesen, dass die Substanz des Linsenkernes nicht Keratin sein kann, dass dieselbe vielmehr eiweissartiger Natur ist. Freilich

Digitized by Google

zeigt sie gewisse Unterschiede im chemischen Verhalten andern Eiweissstoffen gegenüber, doch sind dieselben nur von secundärer Bedeutung und können diese Thatsache nicht umstossen. Ob die erwähnten Verschiedenheiten auf blos mechanischem Wasserverlust beruhen, oder ob sie vielleicht etwa einer Anhydridbildung entsprechen, welch Letzteres gewisse Wahrscheinlichkeiten für sich hat, lässt sich einstweilen nicht entscheiden.

Die Zusammensetzung der Linse im Alter wird demnach mit Ausnahme des Wassergehaltes, wie qualitativ, so auch quantitativ nicht sehr verschieden sein von der, die *Berzelius* seiner Zeit für die menschliche Linse gefunden hat (cf. *Frey*, Histologie pag. 279), wenn man die dort gefundenen 2,4 % Filterrückstand („die Wände der Linsenröhren") mit zu den Eiweissstoffen rechnet.

Dem histologischen Verhalten nach müssen wir annehmen, dass die Umwandlung des Globulins in einen, in den gewöhnlichen Lösungsmitteln schwerer, wenn nicht unlöslichen, Eiweisskörper an der Peripherie der Linsenfasern beginnt, sich zuerst als Membranbildung darstellt und erst später den ganzen Inhalt der Linsenröhren ergreift. Ob hierbei auch die Kerne der Linsenfasern chemisch sich verändern, liess sich leider nicht eruiren. Die Menge des erhaltenen Nucleïns war eben zu gering, um Schlüsse zu erlauben. Ein Controlversuch mit ungefähr dem gleichen Volum Schweinslinsen, die wesentlich noch aus Globulin bestanden, liess in Betreff der Menge des Essigsäureniederschlags in der Sodalösung aus dem Verdauungsrückstand der Schätzung nach keinen merklichen Unterschied erkennen; demnach muss die Frage, ob in den Fasern des Kernes noch Nucleïn enthalten sei, offen gelassen werden, wenngleich die Wahrscheinlichkeit für dies Verhalten zu sprechen scheint.

Das Hauptresultat dieser Arbeit besteht also in dem Nachweise, dass die Substanz des Linsenkernes nicht, wie man bisher

Digitized by Google

allgemein annahm. Keratin, sondern ein Eiweissstoff sei, der sich wesentlich nur in seinen Löslichkeitsverhältnissen von den übrigen Proteïnkörpern unterscheidet. Da auch die Linsenkapsel, wie von *Ewald* und *Kühne* nachgewiesen wurde, einen Eiweisskörper und nicht elastische Substanz enthält, so besteht das ganze Linsensystem mit Ausnahme der überall vorhandenen Extractivstoffe und anorganischen Salze im Wesentlichen aus Körpern der Eiweissgruppe.

Digitized by Google

Das Sehen ohne Sehpurpur.

Von **W. Kühne.**

Die purpurfreien Netzhäute vieler Vögel und Reptilien bezeugen die Möglichkeit des Sehens ohne Sehpurpur und dass Theile der Netzhaut ohne Purpur sehen, beweist das Sehvermögen der Zapfen, welche nirgends purpurhaltig sind. Dass wir ausserdem alles Sichtbare ohne Betheiligung unseres Netzhautpurpurs sehen können und gewohnt sind zu sehen, beweist die gänzliche Abwesenheit des Purpurs in der Fovea centralis und in deren nächster Umgebung im gelben Flecke des menschlichen Auges und da wir diese Theile zum Fixiren gebrauchen, wobei bekanntlich nicht nur Lichtintensitäten fein unterschieden und in der Empfindung localisirt werden, sondern auch sämmtliche Farben mit Einschluss von Schwarz und Weiss zur Wahrnehmung kommen, so wissen wir, dass allen Anforderungen, welche wir an ein Sehorgan stellen können, genügt wird ohne den Purpur.

Man könnte hiernach an der wesentlichen Bedeutung des Sehpurpurs in den Stäbchen für das Sehen zweifeln und vollends die Hypothese unwahrscheinlich finden, nach welcher die photochemischen Bleichungsprodukte des Purpurs die Bedeutung chemischer Reize für das Opticusende im Sinnesepithel haben und um so mehr Bedenken dagegen hegen, als es bei den Vögeln auch Stäbchen ohne Purpur gibt, welche doch gewiss sehen. Im Sinne der Hypothese den Purpur, wo er vorkommt, für das ausschliess-

Digitized by Google

liche actinische Reizmittel in den Stäbchen zu halten, ist schon wegen der geringen Veränderlichkeit des Farbstoffes im äussersten violetten, ultravioletten und rothen Lichte kaum statthaft. Es ist mir zwar bei bedeutender Intensität gelungen, mit dem reinen Roth und Orange ohne Gelb den Purpur nicht nur isolirter Froschnetzhäute, sondern auch am lebenden Frosche vollkommen zu bleichen, allein man muss wegen der Langsamkeit der Entfärbung wol zweifeln, ob dieselbe bei der prompten und intensiven Empfindung in Frage komme, welche uns der Reiz des Roth, ganz abgesehen von der farbigen Wahrnehmung, welche die Zapfen vermitteln dürften, erzeugt. Ungefärbte, actinische Sehreger, die hier neben den farbigen anzunehmen wären, welche vornehmlich auf die beiden Endfarben des Spectrums reagiren, würden zudem in den Stäbchen in der günstigen Lage sein, gerade dasjenige Licht zu empfangen, das der Purpur am wenigsten absorbirt. Abgesehen von der Wahrscheinlichkeit der photochemischen Erregungshypothese im Allgemeinen hat deren specielle Annahme auf Grund des actinischen Verhaltens des Sehpurpurs so viel Einladendes, dass ich sie beizubehalten gedenke bis sich entweder vollgültige Beweise dafür, oder damit ganz unvereinbare Thatsachen finden. Es sind auf die Hypothese so viele Hoffnungen zu setzen und sie verspricht noch im Falle der Widerlegung so fruchtbar zu werden, dass ihr nur Freunde, wie Gegner in gleichem Maasse zu wünschen sind, die letzteren besonders, um sie vor dem Schicksale zu bewahren, im Zustande des Problems für mehr als dieses genommen zu werden. Ich will es darum selbst nicht unterlassen auf Grund von Thatsachen eine Gegenhypothese anzudeuten.

Indem ich nach purpurreichen Sehorganen suchte und die grossen Sehstäbe des Flusskrebses vornahm, fand ich deren Färbung zu meiner Ueberraschung in so geringem Grade lichtempfindlich, dass bei diesem Auge jeder Gedanke an Verallgemeine-

Digitized by Google

rung der bis jetzt am Sehpurpur der Wirbelthiere festgestellten Vorgänge schwinden musste. Ich fand den Purpur hier entsprechend der Beschreibung und Abbildung *M. Schultze*'s violetter oder bläulicher, als den irgend eines Wirbelthieres: selbst recht intensiv oder dunkel gefärbte Stäbe erschienen mehr purpurviolet, als die in dieser Beziehung am meisten ausgezeichnete Farbe der Eule. Da unter dem Miskroskope an der Färbung, trotz bester Belichtung, in Stunden keine auffällige Abnahme zu bemerken war, so dass ich auf den Gedanken kam, dass die immer seitlich mit schwarzem Pigment behafteten, farblosen Schichten, welche sich zwischen die purpurnen Platten drängen, diese fortwährend regenerirten, versuchte ich die Bleichung durch übermächtiges Sonnenlicht und nach sonstigen Einwirkungen, von denen ich annehmen konnte, dass sie den Regenerator vernichteten. Erwärmen auf 35—40° C. hob die Färbung nicht auf, verlieh ihr jedoch auch keine Vergänglichkeit im Lichte; bei 47° C. begann Entfärbung im Dunkeln und ebenso wirkte gesättigte NaCl-Lösung. Hieraus allein erhellt schon die Verschiedenheit des Farbstoffes von dem der Wirbelthiere. Abgestorbene und übelriechende Krebse boten nach dem Liegen in der Sonne noch die schönsten Stäbchenfärbungen dar, ebenso an der Sonne eingetrocknete, wieder befeuchtete und weiter besonnte mikroskopische Präparate des Augeninhaltes. Aus 24 Krebsaugen gelang es so viel der weichen Masse zu entleeren, dass der Versuch des Auflösens in farbloser Galle zu machen war. Es ging freilich eine schwarze Tinte durch das Filter, aber das Pigment setzte sich in einem Tage so vollkommen zu Boden, dass ich eine schön violette Lösung klar abheben konnte. Die Operation war überflüssiger Weise im Dunkeln gemacht worden, denn die Lösung konnte durchaus nicht für lichtempfindlich gelten. Ich will zwar nicht sagen, dass die Farbe nach mehrtägigem Stehen im Freien unter gelegentlichem

Digitized by Google

Sonnenscheine nicht etwas verloren hätte, aber sie blieb doch noch in der stark gefaulten und getrübten Flüssigkeit sehr kenntlich, und als ich die Glycocholsäure mit wenig Essigsäure ausfällte, färbte sich der Niederschlag hellviolet und blieb so während einiger Tage. An den mikroskopischen Stäbchenpräparaten glaubte ich nach mehrstündiger Einwirkung der Sonne, namentlich wo weniger schwarzes Pigment die Stäbe umgab, etwas Abblassen in Lila zu bemerken: an eine irgendwie auffällige Lichtempfindlichkeit war aber auch dabei nicht zu denken. Krebse, die ich lebendig ganze Tage im hellen Sonnenlichte gehalten hatte, zeigten endlich keine schwächer gefärbten Stäbe und hier war auch intensives farbiges Licht ohne Wirkung. Man wird nach diesen Beobachtungen vermuthen müssen, dass bei vielen Wirbellosen eine nicht lichtempfindliche Stäbchenfärbung vorkomme, und ich muss bekennen, dass mir erst nach dieser Erfahrung das lange Verborgenbleiben der Lichtempfindlichkeit des Sehpurpurs verständlich wird, da fast alle Beobachter des Vertebratenpurpurs mit den Erinnerungen an lichtbeständige Farben Wirbelloser an die Arbeit gingen. Die leichtere chemische Zerstörbarkeit der letzteren dürfte auch den Gedanken zuerst erweckt haben, dass das Schwinden der Retinafärbung zu den Vorgängen des Absterbens zähle.

Unter der Voraussetzung, dass die Sehstäbe der Wirbellosen und deren aus Plättchen gebauter, bei vielen Species gefärbter Antheil morphologisch und physiologisch den purpurnen Stäbchen der Wirbelthiere vergleichbar sei, kann die Indolenz der Farbe gegen Licht zu der Vorstellung führen, dass man auch den wahren Sehpurpur seiner Function nach für einen der vielen, farbiges Licht absorbirenden Stoffe halten müsse, womit wir das Auge in so auffälliger Weise ausgestattet finden, und dass er demnach dem gelben Pigmente in der macula lutea, den farbigen Oeltropfen bei Vögeln und Reptilien, der oft sehr

Digitized by Google

entwickelten, gelben Linsenfärbung mancher Fische, sowie dem lebhaft orangefarbenen Protoplasma, das jüngst Dr. Ewald in einer der vorderen Zellenlagen der Cornea vom Flussbarsch entdeckte, anzureihen wäre. Dem Sehpurpur bliebe mit dieser Annahme nur darin etwas Besonderes vorbehalten, dass er zugleich eine Art Adaption für das Licht, und in ganz hervorragender Weise, für farbiges Licht vermittelte. Die Eigenthümlichkeit des Purpurs in zwei Stadien zersetzt zu werden, indem zunächst Sehgelb entsteht, aus welchem erst fortgesetzte Belichtung das vollkommen farblose Sehweiss erzeugt, und die Eigenschaft des kurzwelligen Lichtes, das letztere Product am leichtesten herbeizuführen, würden der Betheiligung dieses veränderlichen, farbigen Schirmes eine grosse Mannigfaltigkeit zuweisen. Indem die totale Zersetzung des Purpurs dasselbe erzeugt, wie starke Verdünnung der farbigen, das Stäbchenaussenglied tränkenden Lösung und den Durchgang des Violet, neben Roth durch die Reste unzerlegten Purpurs besonders begünstigt, der Anfang der Bleichung aber, weil er Sehgelb erzeugt, grade den Durchgang von Violet und Blau einschränkt, ohne das Roth zu hemmen, begreift man, wie der wechselnde Farbenschirm nicht allein bald für diese, bald für jene Farbe angreifbarer wird, sondern auch bald mehr von der einen, bald mehr von der andern durch das Stäbchen fallen lässt, in welchem dann noch weitere Wirkungen auf andere lichtempfindliche Stoffe möglich würden. So viel ich sehe, würde die neue Hypothese übrigens keinen Gegensatz zur früheren enthalten, sondern damit in viel versprechender Weise zu vereinigen sein. Denn, nehmen wir an, das purpurfarbene Stäbchen enthalte noch eine oder mehrere weitere, farblose, besonders durch Roth und Violet angreifbare Substanzen, so würden eben diese Strahlen beinahe ungehemmt dahin gelangen, während das übrige farbige Licht erst nach geschehener Bleichung hinzuträte, zunächst unter Einschränkung des Violet, die bei gelbem und grünem Lichte

Digitized by Google

am stärksten, bei blauem, hinlängliche Zeit oder Intensität vorausgesetzt, am geringsten wäre. So würde längere oder intensivere Belichtung sich je nach der Wellenlänge den Zugang zu den lichtempfindlichen Stoffen einerseits erzwingen, andrerseits erschweren können.

Nach solchen Ueberlegungen schien es mir vor Allem geboten, festzustellen, ob und Was ohne Sehpurpur oder nach dessen Ausbleichung noch gesehen werden könne. Ein Theil der Arbeit ist, wie eingangs angedeutet, bereits entbehrlich geworden oder durch unsere tägliche Erfahrung beim Fixiren vollzogen, aber wir wissen weder, ob wir mit unsern Stäbchen noch sehen, wenn der Purpur gebleicht ist, noch ob das Sehvermögen unserer Zapfen zur Zeit und unter Bedingungen, welche die benachbarten Stäbchen des Purpurs berauben, erhalten bleibt. Der Augenspiegel lässt uns bis heute über die Veränderungen unseres Sehpurpurs im Unsichern, da zuverlässige Ophthalmologen dessen Sichtbarkeit in situ und im Leben überhaupt und wol mit Recht leugnen. Ich zweifle zwar nicht, dass unsere Frage dennoch schliesslich beim Menschen in Angriff zu nehmen und damit endgültig zu entscheiden ist, aber bei der jetzigen Sachlage hielt ich auch Versuche an Thieren für ausführbar und nützlich.

Schon S. 93, Heft 1, dieser Untersuchungen wurde behauptet, dass Frösche mit farbloser Retina noch sehen; ich hoffe den Beweis dafür durch die folgenden Beobachtungen bringen zu können. Im Leben erzielt man die Ausbleichung beim Frosche nach *Boll* bekanntlich durch längere oder sehr intensive Belichtung. Damit man sich keine falsche Vorstellungen von der Veränderlichkeit der Retinafärbung im lebenden Frosche mache, will ich darüber zunächst einige Erfahrungen anführen. Im Januar blieb die Retina von Fröschen, die von Morgens bis Abends im Freien auf weisser Unterlage gesessen hatten, von nahezu normaler Farbe, wenn der Himmel continuirlich bedeckt war, und im Juni habe ich es kürz-

Digitized by Google

lich erlebt, dass Frösche, welche am Morgen in der Sonne gesessen hatten, wobei sie den Purpur sicher einbüssten, während eines vierstündigen Gewitterregens im Freien wieder geröthete Netzhäute bekamen. Im direkten Sonnenlichte erfolgt dagegen die Ausbleichung namentlich im Sommer sehr rasch, etwa in 15 Min. Man hüte sich jedoch solche Thiere für geblendet zu halten, denn sie sehen und sehen offenbar gut, so gut, wie alle Frösche sehen, die bei diffusem mittlerem Tageslichte, im Sommer in etwa einer Stunde um ihren Purpur gekommen sind, und sie fahren fort zu sehen, ohne sich gegen die Sonne zu schützen und ohne etwa continuirlich neuen Purpur zu erzeugen. Bringt man sie in's Dunkle so stellt sich der Purpur nicht „alsbald" wieder her, wie *Boll* irrthümlich angab, sondern wie ich fand und *Boll* seitdem bestätigt, später, als in einer Stunde, und die ersten bemerkbaren Spuren der Färbung kommen erst in etwa 30 Minuten zum Vorschein. Dieser Umstand ist von ausserordentlicher Wichtigkeit, denn wenn solche farblose Retinae wirklich noch sehen, so kann nicht davon die Rede sein, dass sie mit Hülfe eines in gleichem Maasse durch das Licht beständig verzehrten und ebenso beständig wieder hergestellten Purpurs sehen.

Um die folgenden Versuche, zu welchen direktes Sonnenlicht erforderlich war, anstellen zu können, mussten die Frösche vor Erwärmung geschützt werden, sowohl zur Vermeidung von Täuschungen, welche die Empfindung der Wärme verursachen konnte, wie zur Verhütung des Todes durch Wärmestarre, welcher die Frösche auch in der kälteren Jahreszeit, in geschlossenen Gläsern, an der Sonne unerwartet früh erliegen. Ich habe deshalb alle Experimente unter einem beständigen Sprühregen kalten Wassers angestellt.

Unzweifelhaft liebt der Frosch das Dunkle und sucht besonders bei mässigem Lichte die dunkelsten Stellen auf, die er erreichen kann. Ausserdem hat er Vorliebe für die Enden und

Digitized by Google

Ecken seines Gewahrsams, selbst wenn diese keinen Schatten bieten. Da ich unter Anderem die Platzveränderung der Frösche als Reaction auf Lichtempfindung benutzen wollte, so nahm ich Gefässe mit kreisförmigem Boden. Legt man über ein belichtetes Gefäss eine schmale Leiste, so marschiren Frösche darunter, deren Schatten entsprechend, in einer Reihe auf, die bei Raummangel oft sehr kunstgerecht durch Anlegen der Köpfe hergestellt und mit der Sicherheit der Sonnenuhr bewahrt wird. Gibt es in dem Raume gar keinen Schatten, so wendet sich der grösste Theil auffälliger Weise mit den Augen zur Sonne und starrt in den Himmel. Es fällt ihnen nicht ein, dem grellen Lichte den Rücken zu wenden oder sich zu ducken, sondern sie sitzen viel höher aufgerichtet, als sie es sonst gewohnt sind, mit abwärts gestreckten Vorderbeinen da. Während die Thiere sich zur Ausnutzung eines ungenügenden Raumes im Schatten sehr gut einzurichten wissen, sieht man sie in der Sonne niemals eine Anordnung treffen, durch welche sie sich etwa untereinander vor dem Lichte schützen könnten. Ebensowenig schützen sie das Auge durch Einziehen oder Vorlegen der Nickhaut.

Ich nahm eine grosse Porzellanschale mit ebenem, glattem Boden und befestigte darin einen Glasstreif, der den Fröschen den Zugang zu dem halbmondförmigen Schatten verwehrte, welchen der gegen die Sonne gelegene, senkrecht aufsteigende Schalenrand erzeugte und bedeckte das Ganze mit einer grossen Glasplatte, auf die das Kühlwasser rieselte. In wenigen Minuten sassen alle Frösche an dem nicht beschatteten Glasstreifen, wie sehnsüchtig nach dem dunkleren Platze schielend, und einigen kleineren Exemplaren gelang es wirklich, sich zwischen Glasstreif und Deckel durch- oder einzuzwingen. Wie gross das Bedürfniss demnach sein mag, dem Auge Ruhe zu verschaffen, so habe ich doch niemals beobachtet, dass die Frösche dasselbe nach einer unfern gelegenen, beschatteten Mauer oder nach einem andern dunkeln Gegen-

Digitized by Google

stande, der ausserhalb des Behälters lag, richteten. Gab es keinen für sie erreichbaren schattigen Platz, so wurde von der ganz überwiegenden Majorität immer die Stellung und Blickrichtung genommen, welche die intensivste Lichtempfindung gewähren musste der Art, dass wenn ich ihnen darin mit dem eigenen Auge zu folgen suchte, ich sofort, von dem wolkenlosen Himmel in der Nähe der Sonne geblendet, zurückprallte.

Wie mir selbst, wird Jedem, der die Beobachtung anstellt, einfallen, der Frosch habe Scheu seine grössere Hautfläche, die in den meisten Fällen von der Sonne getroffen wird, der Erwärmung auszusetzen, und dass er deshalb, ähnlich wie wir beim Baden, der Sonne nicht den Rücken wende. Als ich indess wirklich geblendete, d. h. blinde, der Augen beraubte Frösche, die zum Vergleiche Wochen zuvor operirt und sehr munter waren, zu dem Versuche verwendete, fand ich bei diesen gar keine Neigung zur Aufrichtung und Drehung des Kopfes nach dem Lichte: von mehr als einem Dutzend sassen einige wohl in hochhockender Stellung, aber oft so, dass gerade der Rücken gründlich besonnt wurde; andere sassen geduckt, und niemals zeigte die Mehrheit Neigung die Sonnenseite des Gefässes zu bevorzugen. Da ich den Durchgang wärmender Strahlen weder durch das Glas, noch durch das Wasser in ausreichendem Maasse verhindern konnte, versuchte ich wenigstens deren Effecte auf die Froschhaut zu mindern und construirte zu dem Ende ein Gefäss aus Weissblech von der Gestalt und den Dimensionen der bis dahin benutzten Porzellanschalen, 7 Ctm. hoch, bei 28 Ctm. Durchmesser. Durch das Centrum trat am Boden die Mündung eines Leitungsrohres ein, das beständig erneuete Füllung mit kaltem Wasser bis zu einigen, 4 Ctm. höher, am Rande angebrachten Abflussröhrchen gestattete. Darin mussten die Frösche schwimmen und ich hatte es am Wasserhahne in der Hand, ihnen durch heftige Strömung das Erreichen und Festhalten der Sonnenseite beliebig zu erschweren.

Digitized by Google

So fand ich die Thiere nach kurzer Belichtung schon in angestrengter Arbeit Kopf und Augen gegen die Sonne zu wenden und nach einiger Zeit hatten sie sich sämmtlich an dem entsprechenden Rande mit aufgereckten Köpfen versammelt, wo das Auge nicht den mindesten Schutz fand. Diese Lage wurde mit verzweifelten Anstrengungen, unter lebhaftem Gequacke länger als 15 Minuten, bis zur Ermüdung festgehalten und nach der Erholung wieder aufgenommen. An den blinden Fröschen zeigte sich nichts der Art; diese schwammen vielmehr behaglich nach allen Richtungen umher.

Hiernach ist es zweifellos, dass der Frosch mit dem Auge das blendendste Licht sucht, falls er demselben nicht entgehen kann. Da er bei vorhandener Wahl sich dem Lichte jedoch entzieht, so wird man nicht annehmen können, dass der Reiz des intensiven Lichtes ihm besonders gefalle; das Licht muss nur etwas Fesselndes für ihn haben, wie für so manche Thiere, die demselben zugehen, auch wenn es ihr Verderben ist. Der Frosch ist dabei jedoch in der günstigen Lage, nicht einmal an seinem Auge Schaden zu nehmen, denn er wird von der Sonne nicht geblendet, wie wir, sondern er fährt fort zu sehen, wie sich jetzt zeigen wird.

Ohne Zweifel ist das Auge dem Frosche das wichtigste Organ, um Gefahr zu merken und ihr zu entrinnen. Ich kann blinde, aber darum nicht weniger lebhafte Frösche aus einer grossen flachen Schale, nach geräuschloser Entfernung des Deckels einzeln, nacheinander herausheben, ohne dass einer entschlüpft, wenn ich heftigere Bewegungen des Wassers vermeide, während ich die grösste Noth habe die sehenden Frösche umzusetzen, auch wenn sie stundenlang besonnt sind. Setzte ich blinde und sehende Frösche in grosse Glasaquarien, aus denen sie nicht herausspringen konnten, in die Sonne, so geriethen die letzteren bei der leisesten Annäherung, vollends nach einigen drohenden Greifbewegungen in höchste Unruhe und schlugen in rasenden

Digitized by Google

Sprüngen das spärliche Wasser zu Schaum, während die ersteren sich unter gleichen Umständen in ihrem Gefässe nicht rührten. Dass die blinden Frösche eben so lebhaft sein können, wie sehende, bemerkt man an den nachhaltigen Springübungen, welche sie nach einigem Aufrütteln anstellen.

Frösche fangen bekanntlich mit grosser Behendigkeit Fliegen, nachdem sie dieselben längere Zeit mit bedächtig glotzendem Blicke aufs Korn genommen haben. Man muss zu dem Versuche ein trocknes Glas nehmen und auch den Frosch gut abtrocknen, damit die Fliege nirgends durch Ankleben an der freien Bewegung gehindert wird, oder am Boden umkommt. Der Frosch scheint anfänglich das lebendige Futter kaum zu bemerken, so wenig wie die Fliege Ahnung von der Gefahr hat, indem sie ihm über Augen und Nase läuft, was seine Ruhe kaum stört und ihn allenfalls veranlasst, sich mit der Pfote über den Kopf zu wischen. Begibt sie sich aber in den oberen Theil des Glases, so wird der Frosch aufmerksam und stülpt in der Regel das dahin gewendete Auge in sehr lächerlicher Weise hervor; nun folgt ein wohlgezielter, oft fusshoher Sprung und die Fliege ist mit der vorgeschleuderten Zunge gefasst und in's Maul befördert. Verschiedene Male habe ich diese Beobachtung, welche Liebhabern von Laubfröschen nicht neu sein wird, an Fröschen gemacht, die Stunden zuvor besonnt waren und mit der Fliege in hohen, aussen berieselten Glascylindern in dem blendenden Lichte sassen: ich kann darum gar nicht mehr zweifeln, dass die Frösche mit vollständig entfärbtem Sehpurpur ganz vorzüglich sehen. Dass der Fang durch keinen andern Sinn als den des Gesichtes möglich wird, zeigte das Verhalten der vielen entaugten Frösche, denen ich Fliegen unter denselben Umständen vorsetzte: nicht ein einziger hat bis heute eine gefangen, sondern man fand dieselbe schliesslich immer zufällig erdrückt.

Seit ich wusste, dass Frösche ohne Sehpurpur sehen und

Digitized by Google

von dauerndem direktem Sonnenlichte keineswegs geblendet werden, habe ich herauszubringen versucht, Was sie sehen, namentlich ob sie Farben sehen. Da so viele Thiere Vorzugsfarben haben, oder einzelne Farben verabscheuen, war den Fröschen Aehnliches zuzutrauen. In Norddeutschland hatte ich als Knabe oft gehört, man könne Frösche mit einem rothen Lappen locken und angeln. Dies ist mir zwar nicht geglückt, vielleicht weil ich beim Angeln überhaupt wenig Erfolge und Vergnügen gefunden habe; ich glaube aber doch bemerkt zu haben, dass die rothe Farbe, vor andern die Frösche aufregt. Nähert man, indem man sich möglichst fern und ruhig verhält, dem Ranarium ein rothes, an die Angel befestigtes, flatterndes Tuch, so sieht man die Frösche mehr in Aufregung gerathen, als wenn man dazu schreiend blaues, gelbes oder grünes Zeug wählt. Am auffallendsten fand ich die Sache im Sonnenlichte und wiederum bei Fröschen, deren Retina bereits ausgeblichen war. Ein weisses Tuch stand indess dem rothen kaum nach. Derartige Versuche, für die man früher den nicht schlechten Namen Naturförsterei hatte, konnten indess ernsthaft nicht befriedigen.

Mit grosser Sicherheit lässt sich auf anderem Wege feststellen, dass die Frösche eine Vorzugsfarbe haben und damit beweisen, dass sie Farben mit gänzlich entfärbter Netzhaut zu sehen vermögen. Diese Farbe ist das Grün. Es war mir schon bei mittlerer Tageshelle aufgefallen, dass die Frösche in runden Gefässen, die mit zwei verschiedenen farbigen Gläsern bedeckt waren, meist unter einem ausschliesslich Platz nahmen, besonders unter dem grünen, wenn Blau concurrirte. Um schneller zum Ziele zu kommen habe ich die folgenden Versuche grösstentheils mit intensivstem Sonnenlichte angestellt, worin so rasch reagirt wurde, dass ich bald über grosse Versuchsreihen verfügte. Bei mittlerer Helligkeit unter weissen Wolken oder im Schatten unter klarem, blauem Himmel zu experimentiren, wurde übrigens nicht

Digitized by Google

unterlassen und ich bemerke darüber zum Voraus, dass die Ergebnisse die nämlichen waren, wie die folgenden.

Da es für meine Zwecke nicht auf grosse Reinheit des farbigen Lichtes ankam, wurde durch farbige Glasplatten beleuchtet. Dunkelgrünes, mit Chromoxyd gefärbtes Glas deckte im Spectrum direkten Sonnenlichtes vollkommen das Roth und Gelb; neben dem Grün war ein Theil des Blau, selbst etwas Violet erhalten. Doppelt genommen liess das Glas nur Grün und etwas Blaugrün, dreifach nur Grün durch und damit konnte man bequem in die Mittagssonne schauen. Das Verhalten des blauen Kobaltglases bedarf der Erwähnung kaum: man weiss, dass es das erste Roth bis C wenig schwächt. Ich habe die Platten meist in 3facher Lage angewendet, wobei das Roth schon etwas gemildert war. So gab es Absorption von C bis in's Blaugrün, unterbrochen durch einen schmalen hellen Streifen im Gelbgrün, während Blau und Violet noch recht intensiv waren. Unter einer grünen Platte besonnt, blichen Froschnetzhäute ungefähr in der gleichen Zeit aus, wie unter 3 blauen, nämlich im Lebenden in 15—20 Min., isolirt und feucht erhalten in 5—6 Minuten. Das Grün war dabei, wie ich es wollte, durch etwas schnellere Wirkung ein wenig im Vorzuge.

Schon die ersten flüchtigen Beobachtungen lehrten, dass Frösche unter Blau und Grün immer das letztere bevorzugen. Sind die anscheinenden Intensitätsunterschiede nicht geradezu colossal, nämlich so, dass die grüne Hälfte des Gefässes blendend, die blaue wie mit einem Brette bedeckt erscheint, so wird man selbst bei ganz sorglosem Verfahren die Frösche über kurz oder lang im Grün versammelt finden, sowohl im hellsten direkten Sonnenlichte, wie im Schatten oder im allerschlechtesten Tageslichte. Ganz ohne Ausnahme ist dies freilich nicht, aber ich hatte Grund, damit besonders zufrieden zu sein, weil ich mit derselben Sicherheit entgegengesetzte Resultate zu demonstriren

Digitized by Google

lernte. Es gibt unter Fröschen, wie unter Menschen Exemplare von abweichendem Geschmacke; die ungeheure Majorität liebt das Grün, aber ein kleiner Procentsatz zieht Blau vor. Meine Sammlung solcher verirrter Subjecte beträgt nach Prüfung vieler hundert Frösche mit Einschluss des Verlustes kaum 2 Dutzend, worunter zwei oder drei, die ich genau kenne, übrigens zuweilen besserer Regungen fähig scheinen. Ich wurde auf die Sache aufmerksam, als ich unter 10—12 Thieren die einzige Rana temporaria beharrlich Inconstanzen verursachen sah. In der Meinung, dieselbe werde aus persönlichen Gründen gemieden, denn an einen Specieshass konnte ich nach bereits erworbenen Erfahrungen bei Rana esculenta nicht glauben, versuchte ich es mit dem Thiere allein und da fand ich wieder die Neigung für Blau. Seitdem habe ich alle gleichempfindenden Nachfolger, die sich gelegentlich durch den Farbenversuch absondern liessen, gesammelt und bis auf die wenigen, schon genannten in ihrem Geschmacke beharrlich gefunden. Dieselben ziehen einzeln, oder in beliebiger Anzahl verwendet immer Blau dem Grün vor und wenn ich sie, durch Fäden am Fusse kenntlich gemacht, mit normalen Fröschen zusammensetze, so bin ich vollkommen sicher, nach einigen Minuten die Trennung durch Bedecken des Gewahrsams mit blauem und grünem Glase zu bewerkstelligen.

Nach meinen geringen Erfahrungen dürften Blau wählende Frösche unter Rana temporaria etwas häufiger, als unter esculenta sein; doch hat die Leibesfarbe mit der Leibfarbe nichts zu schaffen, denn ich fand die Abweichung so gut bei dunkelbraunen wie bei hellgelben und grünen Exemplaren, aber niemals bis heute unter der Sorte von Rana esc., welche in der Sonne hellblaugrün wird. Das Geschlecht scheint ebensowenig Einfluss zu haben.

Meinem Zwecke entsprechend begann ich die Versuche mit gründlich besonnten Fröschen, von denen ich sicher war, dass

Digitized by Google

sie im Dunkeln mehr, als eine Stunde brauchten um wieder leidlich purpurne Netzhäute zu bekommen. Ebenso sicher war ich, dass unter den farbigen Gläsern während der Versuche keine Regeneration erfolgte, da ich einige Augen bei den verschiedensten Bedeckungen und Intensitäten des Himmelslichtes direkt darauf prüfte. Hinsichtlich des Ausschlusses anderer Einflüsse, als der des farbigen Lichtes, schicke ich Folgendes voraus.

1. Wurde jeder Schattenrand in den Gefässen durch Einziehen eines gläsernen Zaunes in einiger Entfernung davon unerreichbar gemacht. — 2. Wurde zur Eliminirung der Lockfähigkeit des Schattens die Grenze der beiden farbigen Bedeckungen immer senkrecht zur vorgenannten Barrière gelegt, so dass die Schattenseite beiden Farben zu Gute kam. — 3. Wurden die Farben bei jedem Versuche von Ost nach West zweimal gewechselt. — 4. Verhinderte ein genügender Sprühregen Erhitzung der Gläser durch die Sonne. — 5. Wurde das Gefäss selbst in fliessendes Wasser gestellt oder das vorhin erwähnte Blechgefäss mit continuirlicher Erneuerung kalten Wassers benutzt. — 6. Liess ich die Frösche nicht ohne Anstrengung die gewählte Farbe erreichen oder bewahren, und endlich wurden 7. alle Versuche durch augenlose Frösche controlirt. Ich lege auf das Letztere den grössten Werth, da die damit erzielten Gegensätze bündig beweisen, dass keine anderen Sinnesorgane, als das Auge, besonders die Haut nicht, Anlass zum Benehmen der Frösche gegen grüne und blaue Beleuchtung geben. Die Haut der Frösche reagirt dem Aussehen nach bekanntlich so leicht und bemerkbar auf Licht und wol auf verschiedenfarbiges nicht gleichartig, dass entsprechende Empfindungen damit verbunden gedacht werden können, bei denen man nicht ohne Weiteres nur thermische Erregungen anzunehmen braucht, und schon aus diesem Grunde war die Benutzung blinder Frösche zur Controle geboten. Dass die Erwärmung durch die angewendeten Gläser Verschiedenheiten

Digitized by Google

erzeugen würde, liess sich bei der Gläserwahl voraussehen, allein ich fand, als ich zwei gleiche Porzellangefässe, mit demselben Volum Wasser gefüllt, unter je ein grünes und unter 3 blaue Gläser in die Sonne stellte, in dem Gange der Erwärmung nur Temperaturdifferenzen von $^1/_2$ bis kaum 1^0 C. zu Gunsten des Blau. Die Experimente selbst werden berichten in wie weit sie den genannten Controlen mehr oder minder zugänglich blieben.

Unter einem grünen und drei blauen Gläsern bedurfte es in der Sonne für unbehinderte, auf feuchtem Boden kriechende und hüpfende Frösche in der Sonne jedesmal kaum 5 Min., um die vorher durch Schütteln gleichmässig vertheilte Schaar auf die grüne Seite wandern zu sehen. Wurde der grün erleuchtete Platz immer mehr eingeschränkt, so drückten sich die Thiere fest zusammen oder kletterten aufeinander, um sämmtlich dem Blau entgehen zu können, und wenn ich mitten durch das Gefäss unter der Farbengrenze einen Glasstreif zog, so drängten sich die in's Blau gesetzten Frösche an diesen und wandten die Augen dem Jenseits zu. Kleinere Frösche vermochten sich zwischen Deckel und Glasstreif durchzuklemmen und als ich endlich ein Glasstück nahm, das am einen Ende schräg abgebrochen war, krochen sämmtliche Frösche durch die noch sehr unbequem zu begehende Lücke ins Grün hinüber. Augenlose Frösche unter die übrigen gesetzt wurden zu jeder Zeit unregelmässig vertheilt gefunden; was sich aber unter dem Blau vorfand, war ausnahmslos blind.

Das Verfahren wurde nun in der mannigfachsten Weise abgeändert, indem ich in der ersten Reihe, wie soeben, beide Farben von solcher Intensität nahm, dass hinsichtlich ihrer Wirkung auf Sehpurpur keine wesentliche Differenz bemerkbar war und indem ich ausserdem für Hindernisse im Festhalten des aufgesuchten Platzes, sowie für sichere Gleichheit der Temperatur, durch strömendes Wasser sorgte; dann nahm ich gegen 1 Grün

Digitized by Google

nur 2 Blau und weiter nur 1 Blau, wobei der Erfolg der nämliche blieb, obwohl mir das Blau beim Durchblicken durch die 2 Scheiben viel dunkler, durch eine Scheibe erheblich heller als das Grün vorkam. Mit einer hellgrünen Tafel anderen Glases, als des gewöhnlich verwendeten, und der einen blauen Scheibe, die mir den Eindruck ungefähr gleicher Helligkeit machten und durch welche ich z. B. dieselben Schriftproben aus gleicher Entfernung entzifferte, war der Erfolg immer noch der nämliche, und wenn ich endlich die Farbendecken bezüglich der Wirkung auf Sehpurpur noch mehr umkehrte und das Grün doppelt, das Blau einfach nahm, so wurde fortwährend von den Fröschen das Grün aufgesucht. Man kann also in keiner Weise sagen, es werde die dunkler scheinende Farbe aufgesucht, so wenig man umgekehrt eine unter farbigem Lichte sich erst entwickelnde Liebhaberei der Frösche für das Hellere aus den Ergebnissen folgern wird. Das einzig Denkbare, das eben übrig bleibt, um das Benehmen der Frösche zu verstehen, ist, dass sie die Farben verschieden und incommensurabel empfinden, wie wir es auch thun, und dass sie der Vorliebe für Grün, trotz aller Tendenz, das Dunkle aufzusuchen, wenn sie solches erreichen können, treu bleiben, auch wenn die Gegenfarbe, an jedem Maasse geschätzt, die dunklere ist. Dies hat indess, wie begreiflich, seine Grenzen, wenigstens unter den vorliegenden Bedingungen, wo mit farbigen Gläsern gearbeitet wurde, in deren Lichte grössere Intensitäten zugleich geringerem Grade der Sättigung entsprachen. Nahm ich 1 hellgrünes Glas, gegen 4—5 blaue, so gingen die Frösche unter das Dunkelblau so gut, wie unter ein Brett, das sie auch dem Grün vorziehen, wenn die Farbe nicht ausserordentlich dunkel ist. Es bedarf der Erwähnung kaum, dass umgekehrt alles Bevorzugen des dunkleren Grün gegen helles Blau in unserem Sinne geringeren Werth hat, weil zur Anziehung der Lieblingsfarbe die der geringeren Intensität hinzukommt. Für den ersteren Fall ist

Digitized by Google

übrigens hinzuzufügen, dass man häufig ein Zögern in der Entscheidung bemerkt, und dass die Frösche entschieden weniger consequent und dauernd im dunkelsten Blau hocken, wenn sehr helles Licht daneben grün ist. Man sieht dies sogar, obschon seltener, wo dunkles Blau durch ein Brett ersetzt wird.

Da die Erfahrungen über Auswahl zwischen Grün und Blau genügen, um zu erkennen, dass Frösche mit gebleichtem und in der Versuchszeit nicht herstellbarem Sehpurpur Farben sehen und unterscheiden, unterlasse ich zunächst weitere Mittheilungen über andere Farbenpaare oder über Entscheidungen zwischen 3 Farben. Was ich bis jetzt in letzterer Hinsicht beobachtete, lässt die Ausdehnung der Methode von grösserem Interesse für Wahrnehmungen bei Mitbetheiligung des Sehpurpurs erscheinen, als für die Feststellung des Farbensehens ohne Purpur.

Die bisherigen Ausführungen mögen das Experimentiren mit bleichungsäquivalentem Grün und Blau überflüssig erscheinen lassen, da es sich eben um keinen Purpur mehr handelte; ich habe dieses Mittel nur mit herangezogen, um der äussersten Bedenklichkeit gerecht zu werden, vornehmlich jedoch, weil es unentbehrlich schien zu Parallelversuchen an Dunkelfröschen. Diese ergaben bei weitem weniger constante und schlagende Ergebnisse, was mich anfänglich mehr als nöthig überraschte, denn wenn man erwägt, dass bei erhaltenem Sehpurpur ein neuer Factor den Sehact complicirt, so wird man andere Reactionen der Frösche schon voraussetzen müssen. Ich habe von Dunkelfröschen den Eindruck empfangen, als ob sie durch Licht aller Intensitäten überrascht und rathlos würden, der Art, dass sie anfänglich selbst die Wahl zwischen dunklem Schutz und hellem Sonnenscheine nicht recht zu treffen wissen. Unter bleichungsäquivalentem Grün und Blau war meist nach 5 Minuten nur die Mehrheit unter dem Grün zu finden und es dauerte die doppelte Zeit, bis sich der Rest dahin begab. Hindernisse durch stärkere Bewegung

Digitized by Google

des Wassers, namentlich zum Festhalten der gewählten Stelle, verzögerten die Entscheidung noch mehr und vollends geschah dies durch Vergrösserung der Intensität im Grün oder durch Minderung im Blau. Das Benehmen sah ganz so aus, wie wenn die Differenz der Bleichungszeit unter den beiden Farben die Empfindung für Intensitätsdifferenzen schärfte, so dass nun nicht mehr innerhalb so weiter Grenzen der objectiven Helligkeit das Grün bevorzugt wurde. Nach 15—20 Min. verhielten sich die Dunkelfrösche unter farbigen Gläsern im direkten Sonnenlichte natürlich ebenso wie die Hellfrösche, denn jetzt waren auch sie des Purpurs beraubt. Um sicher zu sein, dass das Grün bei erhaltenem Sehpurpur ebenfalls vorgezogen wird, stellt man daher diese Versuche besser mit diffusem, nicht zu hellem Tageslichte an. Ich habe so bei Bleichungsäquivalenz sowohl, wie bei überwiegender Intensität des Grün die Entscheidung für dieses treffen sehen von einer so grossen Anzahl von Fröschen, und in den Einzelfällen von sämmtlichen in Gebrauch genommenen, dass ich auch für die Purpur besitzenden und bewahrenden Thiere starke Bevorzugung des Grün vor dem Blau behaupten muss. Ueberlegt man, in wie auffälliger Weise ohne den Purpur beinahe rein nach der Wellenlänge des erregenden Lichtes gehandelt wird, wie dies ferner im Besitze des Sehpurpurs wieder geschieht, wenn derselbe sehr langsam afficirt wird, während das Benehmen gerade da gegen die Farbe unsicher wird, wo ausser der Farbenempfindung noch die Differenzen der Ausbleichung zur Wahrnehmung kommen, so kann man kaum zweifeln, dass die Farben purpurlose Theile des Sehapparates afficiren, denen ein andrer zu Hülfe kommt, so lange er Sehpurpur enthält und damit reagirt. So viel ich sehe, ist dies in Uebereinstimmung mit der Auffassung, welche der Zapfenerregung die Vermittlung sämmtlicher Empfindungsqualitäten, der Erregung der Stäbchen durch irgendwelche objective Reize, nur die des Hell und Dunkel zuschreibt.

Digitized by Google

Wenn es richtig ist, dass es Thiere ohne Zapfen giebt, oder, worauf es mehr ankommt, dass es Netzhäute gibt, die nur Sehpurpur führende Lichtempfänger besitzen, so darf man hoffen, die Frage zur Entscheidung zu bringen, ob gebleichte Stäbchen noch durch Licht erregt werden können.

Digitized by Google

Untersuchungen über den Sehpurpur.

Von **A. Ewald** und **W. Kühne.**

Unter den Beobachtern der Stäbchenfärbung herrscht hinsichtlich der ihr zuzuschreibenden Nuance nahezu vollkommene Uebereinstimmung. Nur der erste Entdecker, *Heinrich Müller,* scheint die Eigenthümlichkeit der Farbe verkannt zu haben, da er die Verschiedenheit von der des Hämoglobins nicht bemerkte und an die Möglichkeit einer Imbibition der Stäbchen mit Blutroth dachte. Später nannten *Leydig* und *M. Schultze* die Färbung bei allen Gelegenheiten rosa oder rosenfarben, wie man bekanntlich wenig gesättigtes Roth nennt, das Blau oder Violet enthält. Bestimmter wurde dieselbe von *Boll* für purpurfarben erklärt und angedeutet, dass das Roth auch nach spectroskopischen Beobachtungen von *Blaserna* kein einfaches sei. Ebenso haben sich später viele andere unbefangene Beobachter der Bezeichnung Purpur bedient, so dass eine Uebereinstimmung erreicht wurde, welche auf eine gewisse Deutlichkeit der fraglichen Nuance schliessen lässt. Wer jetzt überhaupt Erfahrungen über das Aussehen dunkel gehaltener Netzhäute hat und wer besonders die der Säuger, den Menschen eingeschlossen, die mancher Fische, der Eule und vieler Raubvögel kennt, wird über die Benennung Purpur höchstens insofern in Zweifel gerathen, als er vielleicht oft die Bezeichnung Violet vorziehen wird.

Digitized by Google

Die Farbe der Retinastäbchen genau zu bestimmen, ist in vielen Beziehungen von grosser Wichtigkeit: man muss wissen, wie sie ist, um sich über ihre Veränderungen durch Zersetzung, namentlich die photochemische, nicht zu täuschen, man muss die Nuance kennen, um zu verstehen, wie sich dieselbe durch Concentration und Verdünnung ändert, man muss die Absorption verschiedenwelligen Lichtes feststellen, um deren Beziehungen zur Zersetzung des Purpurs im einfarbigen Lichte zu verfolgen, und man muss Mittel zur Analyse der Farbe haben, um zu erfahren, ob der Farbstoff optische Differenzen bei den verschiedenen Thieren bedingt.

Wir haben zur Farbenanalyse des Sehpurpurs mehrere Methoden benutzt, die in dem Folgenden beschrieben werden sollen, und in einer ersten Beobachtungsreihe auf die Retina, in einer zweiten auf den Sehpurpur in Lösung angewendet. Hieran schlossen sich unmittelbar neue Untersuchungen über die Ausbleichung der gefärbten Netzhaut in verschiedenen farbigen Beleuchtungen, denen wir eben solche über die photochemische Zersetzung der Sehpurpurlösung folgen liessen. Weitere Untersuchungen waren den Veränderungen des Sehpurpurs im Leben, seiner Entstehung und schliesslich dem allgemeinen chemischen Verhalten des Farbstoffs gewidmet. Wir werden in der genannten Reihefolge über unsere, von der Gunst des Sonnenlichtes nur zu abhängig gewesenen, erst nach längerer Zeit erworbenen und befestigten Erfahrungen berichten.

I. Analyse der Retinafarbe.

Da die zum Sehen nöthige Wirkung des Lichtes in den hinteren Schichten der Netzhaut geschieht, müssen deren Gewebe ungefähr so durchsichtig sein, wie die brechenden Medien des Auges es im Allgemeinen sind, und wenn wir die Stäbchen soweit für Lichtempfänger nehmen, als sie Sehpurpur enthalten, also bis an die äussersten Kuppen ihres Aussengliedes, so muss der

Digitized by Google

Purpur eine durchsichtige Farbe sein, welche ein wiederum durchsichtiges Medium tränkt. Diese mit der Farbe anzunehmende Durchsichtigkeit kann noch weitere Bedeutung haben, indem sie Wirkungen des Lichtes auf das Epithel ermöglicht, dessen Betheiligung an der Gesichtserregung wir jetzt nach Erfahrungen anderer Art zu ahnen beginnen. Ob die Farbe frischer Netzhäute die vermuthete Lackfarbe sei, und in welchem Grade sie es sei, haben wir zuerst festzustellen versucht.

Man setze auf eine mattschwarze Unterlage einen Tropfen gewöhnlichen, deckfarbenen Blutes neben einen Tropfen desselben Blutes, das man in irgend einer Weise, ohne es zu verdünnen oder zu zersetzen, lackfarben gemacht hat: man wird den ersteren roth, den zweiten in jeder Beleuchtung schwarz finden. Breitet man den deckfarbenen Tropfen flach aus, so schwindet das Roth nur an den allerdünnsten Stellen. Aehnlich wie das lackfarbe Blut verhält sich die Retina auf der schwärzesten Unterlage, die wir ihr geben können, nämlich beim Frosche, in der natürlichen Lage, auf der bei diesem Thiere im Gegensatze zur grossen Mehrzahl anderer für intensivstes Sonnenlicht ganz undurchsichtigen Chorioïdea; wir sagen ähnlich, denn eine geringe Spur von Roth oder Violet zieht sich, wie ein zarter Schleier über den feucht spiegelnden Grund des eröffneten Froschauges, dessen Schwarz einen Stich in's Bräunliche erhält. Ist die Retina herausgenommen, so sieht man das reinste Schwarz, das überhaupt Pigmente bieten können; ist sie aber im Leben ihres Purpurs durch längere Belichtung beraubt, so erscheint der Augengrund grauschwarz. Da die Stäbchen nicht direkt auf der Uvea, sondern auf den farblosen Aussenstücken der Pigmentepithelien ruhen, kann auch von diesen reflectirtes Licht die geringe Sichtbarkeit des Sehpurpurs in situ bedingen. Indess wird dies kaum von Belang sein, weil man es niemals an der Schwärze des zurückbleibenden Grundes zu er-

Digitized by Google

kennen vermag, ob die Retina mit oder ohne das Epithel herausgezogen wurde, und andrerseits scheint genügend Licht aus der Stäbchensubstanz reflectirt zu werden, weil man den farbigen Schimmer der Retina noch wahrnimmt, wenn man sie mit der Stäbchenseite gegen mattschwarzes Papier oder Metall aufträgt. An Falten kommt dann natürlich am meisten Farbe zum Vorschein, aber auch die vollkommen glatt ausgebreiteten Theile zeigen etwas davon. Bemerkbar deutlicher wird dies, wenn man die Netzhaut mit der Vorderfläche auf Schwarz legt, woraus folgt, dass auch die Gewebe der vorderen Schichten etwas Licht zurückwerfen. Dies Alles gilt für ganz frische Retinae, nicht für getrübte, nach einigen Stunden des Absterbens weisslich-purpurn gewordene. Legt man so veränderte Präparate mit der farbigen Seite auf Schwarz, so sehen sie fast bläulichweiss aus, ebenso wie im Froschauge abgestorbene und dort in situ gelassene, während sie umgedreht, trotz der schwarzen Unterlage den Purpur mit grosser Deutlichkeit zeigen.

Die Eigenfarbe der Retina stellt also keine so vollkommene Lackfarbe dar, wie man erwarten könnte, und man würde sie daher ophthalmoskopisch und am lebenden Menschen möglicher Weise unterscheiden können, selbst wenn hinter dem Epithel kein Licht reflectirt würde. Wäre die lebende Retina so durchsichtig und würfe sie nur so wenig Licht aus ihrem Innern zurück, wie lackfarbenes Blut, so würde sie bei jeder Beleuchtung in situ so schwarz aussehen, wie ein Tropfen solchen Blutes in der Uvea des Frosches ausgebreitet aussieht, falls nämlich der Hintergrund beim Menschen und den meisten Geschöpfen so dunkel wäre, wie beim Frosche. Wir haben lackfarbenes Blut durch Schütteln mit Luft so hellroth gemacht, wie wir konnten und es im halbirten, von der Retina befreiten Froschauge weder von Wasser noch von schwarzer Tinte unterscheiden können.

Digitized by Google

Zur Feststellung der normalen Retinafarbe mit unbewaffnetem Auge und unter Verzicht auf optische Methoden sind ein mittlerer Farbensinn des Beobachters und Ausschliessung des Lichtes bis zum Augenblicke der Betrachtung die ersten, aber genügenden Erfordernisse. Die Netzhaut darf jedoch nur sehr kurz und bei möglichst gedämpftem Tageslichte besehen werden.

Will man das Mikroskop gebrauchen, so muss das Object vor überflüssigem durchfallendem Lichte möglichst, vor auffallendem gänzlich geschützt werden. Mikroskope, welche bemerkbar in Blau oder in Gelb übercorrigirt sind, dürfen nicht verwendet werden. Die Herrichtung der Retina geschieht vor der Natronflamme möglichst schnell und bei gerade ausreichender Belichtung, weil auch dieses Licht die Farbennuance schwach vermindert; wenn das Präparat mikroskopisch betrachtet werden soll, muss es aus der Natronkammer bedeckt an das bereits eingestellte Instrument getragen und erst an Ort und Stelle entblösst werden.

Fixirt man die zuvor im Dunkeln auf einer mattweissen Unterlage ausgebreitete Froschretina am Lichte etwa 20 Sec., so sieht man beim Nebenblicken auf die weisse Fläche ein rein grünes Nachbild. Je öfter der Versuch an demselben Objecte wiederholt wird, desto weniger rein wird die Farbe des Nachbildes, indem sie in Blaugrün umschlägt. Fixirt man die beiden Hälften einer zerschnittenen Retina, deren eine nur etwa 30 Sec. belichtet war, während die andere unter einem Deckel geschützt blieb, auf Weiss, so erhält man darauf zwei Nachbilder neben einander, von denen das dem belichteten Stücke entsprechende sehr deutlich blaugrün, gegen das andere rein grüne absticht. Das Complementär der Dunkelretina ist also reines Grün, das der nur kurz und mässig belichteten bläuliches Grün.

Unter den Pigmenten repräsentirt arsenigsaures Kupfer das reinste Grün. Wir legten ein damit gefärbtes Papierstückchen, das mit einem carminfarbenen, am gleichen Orte unseres Auges gedeckt, neutrales farbloses Grau, mit Zinnober gelbliches Grau

Digitized by Google

gab, neben die Retina und vereinigten die Bilder nach den bekannten Methoden von *Helmholtz*. Der Erfolg der Mischung war farbloses Grau, aber je länger man hinsah oder je öfter man die Betrachtung wiederholte, um so mehr schlug das Grau in's Gelbliche. Auch dieser Versuch erwies sich schlagend mit der getheilten und ungleich belichteten Retina. Am vollkommensten gelang er nach der Methode, welche die katoptrisch und dioptrisch mittelst einer Glasplatte gesehenen Bilder zur Deckung bringt, weil man die Intensität der Farben durch Aenderung der Neigung des Glases in weiten Grenzen zu wechseln vermag; indess kamen wir auch mit einem vor das Auge gehaltenen doppelbrechenden Kalkspathkrystalle zum Ziele.

Welche Spectralfarbe die complementäre der Netzhautfärbung sei, sahen wir, als wir mittelst derselben Methoden das Bild eines genau zwischen den Linien *E* und *b* genommenen Ausschnittes des Sonnenspectrums auf einer weissen Papierfläche mit dem der Retina vereinigten. Die letztere wurde zu dem Zwecke sehr nahe dem scharf begrenzten grünen Bilde auf derselben Papierunterlage mit mehrfach reflectirtem Sonnenlichte, dem wir die scheinbare Helligkeit der Nebenfarbe gaben, weiss beleuchtet. Der Erfolg der Mischung war hier ebenfalls farbloses Grau, nach längerer Lichtwirkung Gelbgrau.

Wenn reines Grün das Complementär der Netzhautfarbe ist, so müssen farblose oder graue Objecte neben oder in der Retina in rein grüner Contrastfarbe erscheinen. Dies ist bei sorgfältiger Beachtung aller erwähnten Cautelen auch im mikroskopischen Bilde der Fall für die weniger durchsichtigen, grauen Stäbchen, die ausser den von *Boll* beschriebenen grünen vorkommen. Man kann dieselben darum im Anfange der Untersuchung an der Farbe nicht von den letzteren unterscheiden, sondern nur an der geringeren Intensität der Färbung, sowie im Allgemeinen an der geringeren Durchsichtigkeit. Es bedarf aber keiner vollen Minute, um sie im Gange der Belichtung, wenn die Retina eben

Digitized by Google

statt purpurn, roth aussieht, bläulich gegen die grünen abstechen zu sehen, (vergl. Heft 1, S. 23 u. S. 70).

Bei der mittleren, normalen Concentration des Sehpurpurs in den Stäbchen genügt sehr geringe photochemische Wirkung, um das Violet darin für unser Auge auszulöschen und in unserer Empfindung nur Roth übrig zu lassen. Anders ist es, wenn man die Netzhautfarbe mit weissem Lichte mischt. Wir besahen Froschretinae, die am Lichte soweit verändert waren, dass sie nicht nur zu Blaugrün complementär geworden waren und Nachbilder dieser Farbe erzeugten, sondern auch beim blossen Ansehen stark gelblichroth erschienen nach einer der vorgenannten *Helmholtz*'schen Methoden, indem wir sie mit weissem Lichte in unserem Auge deckten, und da sahen wir daran diejenige Nuance, welche alles Purpurfarbene bei geringer Sättigung annimmt, nämlich Rosa immer kenntlich werden und dieses überhaupt nicht eher verschwinden, als bis die Retina von der Sonne schon ganz hellgelb gebleicht war. Selbst wo die letztere Ausbleichungsstufe fast erreicht schien, schlug sie mit Weiss gemischt immer noch in das eigenthümliche helle Chamois um. Das Weiss, das wir zumischten, war freilich nicht vollkommen rein, es war nur das von möglichst rein weissem Papier reflectirte, zerstreute Tageslicht des weiss bewölkten Himmels. Da man aus *Brücke*'s jederzeit zu bestätigenden Versuchen (Vorles. ü. Physiol. II. S. 136) erfährt, dass solches Weiss eine rothe Nuance, sicher keine blaue oder violette hat und dass es Blau in Purpur, Gelb in Orange nuancirt, so zeigt das Verhalten der scheinbar rein rothen, orangefarbenen und selbst gelblichen Retina nach dieser Mischung, *a fortiori*, dass das von den lichtveränderten Stäbchen noch ausgehende Licht, fast unter allen Umständen, neben dem ohne Hülfsmittel wahrzunehmenden rothen und gelben, vorwiegend stärker brechbares, besonders violettes enthält.

Digitized by Google

Die Netzhautfarbe im Dunkeln gehaltener Frösche zeigt individuelle Differenzen, welche von mehreren Ursachen herrühren. Ist die Zahl der von *Boll* entdeckten grünen Stäbchen gross, oder nach einem Verfahren, das später besprochen wird, vergrössert, so ist eine gewisse grünliche Schillerfarbe unverkennbar, der Art, dass wir nach dem Anblicke mit unbewaffnetem Auge ihre Gegenwart, welche die mikroskopische Untersuchung darthut, voraussagen können. Bei mässiger Menge der grünen Stäbchen scheint das Roth brennender, weniger violet, und bei vielen grünen Stäbchen und schwächerer Tränkung der andern mit Purpur, schlägt die Gesammtfarbe etwas in's Schiefergraue. Sind viele graue Stäbchen vorhanden, bei gewöhnlicher mittlerer Menge der grünen, so ist die Retina mehr rosenroth: die Purpurfarbe, welche man also an der Gesammtfläche der vereinigten verschiedenfarbigen Stäbchen sieht, schwankt schon, ohne dass sich in der Beschaffenheit der purpurnen Mosaikstücke etwas ändert. Ausserdem kann jedoch bei Dunkelfröschen die Purpurfarbe selbst in den Stäbchen in wechselnder Menge enthalten sein und dies bedingt dreierlei verschiedene Färbungen: bei viel Purpur, Zugehen nach dem Violet, in's Dunkelpurpurfarbene mit starkem Zurücktreten des Roth; bei mittlerer Concentration, stärkeres Hervortreten des Roth; bei abnehmender Menge des Farbstoffs, Uebergang in Rosa, endlich in blasses Lila. Die letzteren Farben lassen sich aus der Froschretina immer leicht durch allmähliches Zerquetschen zwischen zwei gut aufeinander geschliffenen Glasplatten herstellen, zwischen denen die weiche Membran gleichmässig dünner zu drücken ist, und wenn man den Versuch mit einer recht dunkel purpurfarbenen Netzhaut beginnt, so sieht man anfänglich das Roth mehr hervortreten, später Rosa, endlich Lila sich einstellen. Mit der Netzhaut der Eule oder des Aals erzielt man das erste Stadium besonders gut. Selbstverständlich sieht die dünn ausgebreitete, lilafarbene Masse wieder schön purpurfarben oder intensiv roth aus, wenn man sie wieder zu einem kleinen Häufchen zusammenschabt, was wir

Digitized by Google

aus besonderem Anlass leider nicht unerwähnt lassen dürfen. Wenn die Retina im Absterben trüb wird und aus ihrem Innern mit Einschluss der Stäbchensubstanz mehr weisses Licht reflectirt, so ändert sich die Farbe, wie durch Verdünnung, d. h. der violettere Purpur schlägt erst mehr in's Roth, bei weiterer Trübung sehr entschieden in's Rosa um. Dies ist der Grund, weshalb bei den Warmblütern, wo die Trübung rascher auftritt, die Gegensätze von reinerem Roth und überraschend entschiedenem Violet viel häufiger zur Anschauung kommen.

Entsprechend den Veränderungen durch Zumischung weissen Lichtes ist auch das mikroskopische Ansehen der Stäbchen des Frosches, nämlich in dünner Schicht, wo man die Farbe an auf der Seite liegenden gerade erkennt, lila, in stärkerer rosa, in noch stärkerer mehr roth, wie die meisten, durch die Längsaxe gesehen, erscheinen, endlich in den dicksten Lagen einer Falte z. B. prächtig purpurn.

Die ganze Reihe der aufgeführten Nuancen ist selbstverständlich nur für kurze Zeit bei gedämpftem Tageslichte zu sehen, denn Belichtung zersetzt den Purpur und wirkt gänzlich anders, wie Verdünnung, weil der Sehpurpur nicht mit einem Schlage in Sehweiss, sondern zuvor in Sehgelb, das erst zu Weiss wird, übergeht. Daher besteht jede Anfangsänderung durch das Licht im Auswischen der Purpurfarbe, im Umschlagen in's brandige oder reinere Roth. Diese letztere Farbe kommt übrigens zuweilen auch an Dunkelfröschen unabhängig von aller Belichtung vor, aus Gründen, die wir später erörtern werden. Andererseits wissen wir Mittel, um das entgegengesetzte Extrem dieser Farbe, nämlich helles Lila, das wir bei eigentlichen Dunkelfröschen niemals sahen, beliebig herzustellen: man braucht nur lebende Frösche $^1/_2$ Stunde in der Sonne bis zum vollständigen Ausbleichen ihrer Netzhaut zu halten und so lange in's Dunkle zurückzubringen, bis die ersten Spuren der Regeneration bemerkbar sind; dann hat sich statt Sehweiss wieder Purpur, aber erst sehr wenig, ge-

Digitized by Google

bildet, und die Netzhaut ist blass-lila. 20—30 Min. sind dafür in der Regel die richtige Zeit, etwas später ist die Farbe schon hell-rosa. Da neben blassen lila und rosa, sowohl grüne, wie graue Stäbchen so gut, wie in der tiefer gefärbten Netzhaut, existiren können, so wird die grosse Mannigfaltigkeit der Farbe, welche die Stäbchenfläche im Ganzen darbieten kann, verständlich, und wenn man die veränderlichen Grade der Durchsichtigkeit im Absterben, sowie die Verschiedenheiten des Haftens von Epithelpigment zwischen den Stäbchen, welches vorzugsweise an die Zeit der Regeneration geknüpft ist, hinzunimmt, so begreift man, welche ungeheure Zahl von Nuancen an der Farbe zu beobachten ist, ohne dass sich das Licht an deren Entstehung direkt betheiligte. Unter Mitwirkung des Lichtes, das im Sehgelb noch etwas Neues erzeugt, nimmt die Mannigfaltigkeit selbstverständlich zu.

Das Angeführte gilt, wie kaum zu bemerken nöthig, vorwiegend für die Netzhaut des Frosches und der Kröte, welche durch den Besitz grüner Stäbchen zwischen purpurnen ausgezeichnet sind. Bei Salamandra maculosa fanden wir dieselben nicht.

Es würde zu weit führen noch aller Nuancen zu gedenken, welche chemische Agentien an der Dunkelretina veranlassen, indem sie totale oder partielle Zersetzung bis zum Sehgelb hervorbringen. Wir werden im chemischen Abschnitte darüber Einiges berichten und bemerken hier nur, dass Mittel, welche die Netzhaut durchsichtig machen, wie NH^3 z. B. ähnlich wirken, wie Verdünnung des Purpurs oder der farbigen Schicht, also bei sehr tiefer Färbung Uebergang zum Roth, bei schon vorhandenem reinerem Roth Uebergang zu Rosa, bei diesem hingegen Hervortreten des Lila bewirken. Coagulirende und trübende Mittel, namentlich Alaun, machen unbelichtete Netzhäute immer sehr deutlich rosenfarben.

Digitized by Google

Spectralanalyse. — Am Sehpurpur in der Netzhaut haben wir die Analyse vorzugsweise mit Hülfe des objectiven Spectrums durchzuführen versucht, da die gewöhnliche Methode den Absorbenten vor den Spalt zu bringen, nicht zu genügend reinen Bildern führte (vergl. Heft I, S. 50). Die Art, wie Herr *Blaserna* verfuhr, nämlich die Retina mit einem Taschenspectroskope zu besehen, was bei Vervollkommnung des Verfahrens doch immer auf spectroskopische Untersuchung des von der Retina reflectirten Lichtes hinauslaufen würde, halten wir zwar im Beginne solcher Untersuchungen für ganz selbstverständlich und natürlich, aber nicht zur Fortsetzung einladend, weil man damit bekanntlich auch an andern Farben schlecht zum Ziele kommt und höchstens in der Noth dazu greift, vor Allem aber, weil diese Methode starke und sehr wirksame Belichtung erheischt, was hier gleichbedeutend mit Veränderung der zu untersuchenden Substanz war.

Wir breiteten die Froschnetzhäute auf einer horizontal gestellten Glasplatte aus, auf welche wir das Sonnenspectrum nach Reflexion von einem vorn platinirten Spiegel fallen liessen, und legten entweder Milchglas, weisses Papier u. dergl. unmittelbar oder in einiger Entfernung darunter. In andern Fällen wurde die Glasplatte von unten direkt, oder mit Hülfe eines unteren Spiegels betrachtet, Einrichtungen, welche im Wesentlichen der Bequemlichkeit dienten, da uns nur daran lag, die Netzhäute möglichst frisch, mit der natürlichen Befeuchtung, ruhig ausbreiten zu können, was auf den gewöhnlich verticalen Projectionsflächen umständlich war.

Nach einer grossen Zahl solcher Besichtigungen haben wir vornehmlich die früheren Angaben (vergl. I. Heft S. 54) zu wiederholen, nämlich die Absorption vom Gelb bis zum Violet zu constatiren. Keine normale Dunkelretina war so gefärbt, dass sie nicht Violet des Sonnenspectrums merklich durchliess oder reflectirte. Im letzteren Falle haben wir uns durch Vorhalten

Digitized by Google

eines vor dem Auge gedrehten *Nicol*'schen Prismas überzeugt, dass es nicht von der feuchten Oberfläche reflectirtes violettes Licht war, das man wahrnahm. Es ist ausserdem immer leicht, sich vor dieser Fehlerquelle zu schützen, wenn man das Präparat unter dem Winkel betrachtet, der im unmittelbar benachbarten Blau, im Grün u. s. w. keine entsprechend farbigen Reflexe auf der glänzend schwarzen Netzhautfläche aufkommen lässt. Mit Ausnahme der schon erwähnten, sehr vereinzelt vorkommenden brandrothen, beinahe rein roth erscheinenden Retinae, die bei Fröschen abnormer Weise vorkommen können, haben wir das Violet immer etwa so schwach absorbirt gefunden, wie die Gegend am Gelb, wo die erste und schwächste Beschattung wahrgenommen wird. Es genügt aber die Retina einen Augenblick gut zu belichten, oder sie länger im Spectrum liegen zu lassen, um die Absorption für Violet bedeutend zunehmen zu sehen. Zu dieser Zeit erscheint die Retina reinroth, d. h. sie lässt nur Roth und Gelb bis zum Anfang des Grün durch: es hat sich, so erkennbar, Sehgelb gebildet uud dem Purpur zugemischt.

An den gewöhnlichen, normalfarbigen Netzhäuten ist die Bestimmung der grössten Absorption aus vielen Gründen misslich, einmal wegen der schnelleren Bildung von Sehgelb in den mittleren Theilen des Spectrums, auf die es ankommt, andererseits wegen der sowohl unserem Auge verschieden erscheinenden, wie objectiv verschiedenen Intensität der Einzelfarben. Gegen das Letztere haben wir uns durch den Gebrauch eines scharfen (reflectirten) Gitterspectrums, das bekanntlich das rothe Ende am meisten gedehnt zeigt, zu schützen gesucht, und glauben daher mit annähernder Sicherheit sagen zu dürfen, dass die stärkste Absorption in's Gelbgrün oder in den Anfang des Grün falle; darauf folgen in abnehmender Reihe reines Grün, Blaugrün, Blau, Gelb und Violet. Zwischen den letzteren beiden fällt natürlich die Vergleichung am schwersten. Wer die Versuche wiederholt, wird die beste Bestätigung der eben genannten Reihenfolge in

Digitized by Google

dem Verhalten sehr blasser, aber unbelichteter (vergl. oben), auch gequetschter Netzhäute finden, denn diese absorbiren Nichts, als das gelbliche Grün, aber mit zunehmender Tiefe der Eigenfarbe Grün, Blaugrün, Blau, endlich Gelb und etwas Violet. Wir rathen hierzu sowohl die im Dunkeln regenerirten Netzhäute der verschiedenen Stadien von gründlich besonnten Fröschen, wie aufeinander gelegte recht dunkle Retinae zum Zerdrücken zu nehmen, welche letzteren das zweifelloseste Resultat geben. Abwaschen in dünner Salzlösung ist bei diesem Verfahren, um Blutspuren in den Gefässen der Hyaloïdea zu vermeiden, in vielen Fällen nothwendig.

Zur weiteren Feststellung der Absorption haben wir noch ein Mittel verwendet, das vielleicht in der Technik der Prüfung von Pigmenten allgemeineren Eingang findet. Es bestand in der Beleuchtung durch spectrale Mischfarben mit Einschluss des auf verschiedene Weise zu bildenden Weiss.

Nach *Helmholtz*'s Entdeckungen erzeugt man Weiss bekanntlich aus 4 Paaren spectraler Farben, und es war zu erwarten, dass man darin die Eigenfarbe der Netzhaut mit grösster Deutlichkeit werde hervortreten sehen, wenn eine der im Sehpurpur enthaltenen in der Belichtung vorkam. In der Ausführung haben wir uns mit grossem Vortheile des von *Helmholtz* construirten verschiebbaren Doppelspaltes (Physiol. Optik. S. 304, Taf. IV, Fig. 2), sowie seiner Anweisungen zur Erzielung eines scharfen Bildes der vereinigten Farben bedient, indem wir das Prisma in grösserer Entfernung vom Spalte im Fensterladen aufstellten, die Linse dahinter setzten, und einen weiten Spalt, der als Object, oder als scharfer Rahmen für das farbige Bild zu dienen hatte, zwischen diese und den Doppelspalt einschoben (l. c. S. 303 Fig. 125). Wir sind nur in dem Punkte zuweilen von der *Helmholtz*'schen Einrichtung abgewichen, dass wir hinter die Oeffnungen des Doppelspaltes nicht eine Linse zum Entwerfen des Bildes, sondern deren zwei verwendeten, was bei Licht von sehr verschiedener

Digitized by Google

Brechbarkeit den Vortheil hatte, von beiden an demselben Platze Bilder gleicher Schärfe zu liefern, wenn man die Linsen entsprechend verrückte.

Wo das Spectrum klein genommen wurde, oder wo in einem grösseren die Farben so nahe bei einander lagen, dass die Spaltlücken eng zusammenstanden, war es dann nöthig, die beiden Linsen ebenso nahe zusammenzubringen. Durchschnittene Stereoskoplinsen leisteten dazu gute Dienste. Für ausgedehntere Spectra oder weit darin abliegende Theile bedienten wir uns des genannten Doppelspaltes, der dafür zu klein wurde, nicht, sondern benutzten einen hölzernen, auf einem Stabe verstellbaren Rahmen, über welchen soweit Streifen undurchsichtiger, hinten geschwärzter Pappe mit Reisnägeln befestigt wurden, als wir den Durchgang farbigen Lichts verhindern wollten. Es ist zwar ziemlich mühsam diesen Streifen die richtige Breite zu geben und sie genau zu befestigen, aber wir gewannen so eine einfache und wenig kostbare Vorrichtung, die uns das Verfahren soweit auszudehnen gestattete, wie wir wollten. Um die einfarbigen Bilder auf einen zum Arbeiten bequemen Platz zu lenken, reflectirten wir dieselben meist mit zwei für sich verstellbaren, rechtwinkligen Glasprismen nach abwärts, auf eine horizontale, weisse Platte, und wo dies geschah, reichte zugleich eine einzige Linse auch für Strahlen der verschiedensten Brechbarkeit aus, indem man nur ein Prisma so vor oder zurück zu schieben brauchte, dass die Projectionsplatte in die betreffende Focalebene fiel. Die Reflexion durch zwei getrennte Prismen geschehen zu lassen, bewog uns übrigens noch ein anderer Grund. Wenn es sich nämlich nur darum handelt, die beiden farbigen Bilder zur vollkommenen Deckung zu bringen, ist das Verfahren des Ueberschiebens, wie in Fig. 1, ausreichend. Wir wollten jedoch mit der Farbenanalyse die unten zu beschreibenden Ausbleichungsversuche am Sehpurpur verbinden und brauchten dazu partielle Deckung der Bilder, so dass die Mischfarbe jederzeit von einem hinreichend breiten

Digitized by Google

Streifen ihrer Componenten begrenzt wurde. Da jedes Bild, das in letzter Instanz von dem verticalen linearen Objecte des Spaltes ausging, eine ebensolche mittlere, vertical ausgedehnte Partie grösster Intensität hatte, so fielen diese bei partieller Deckung nicht zusammen, sondern so, dass das intensivste Licht der einen Farbe das schwächste der andern deckte. Deshalb wählten wir

Fig. 1.

Fig. 2.

die durch die Prismen leicht herzustellende Deckung, wie in Fig. 2, worin jedes der 3 Felder (a. b. c.) in der Mittellinie annähernd die grösste zu beiden Seiten für beide Farben gleichmässig abnehmende Intensität hatte.

In sehr vollkommener Weise gelang es zunächst das Weiss aus seinen Complementären zusammenzusetzen. Die Arbeit ist zwar immer mühsam, wenn man es dahin bringen will, dass das Partialweiss von dem zum Vergleiche in die Nähe gelenkten, gehörig gedämpften Tageslichte nicht mehr zu unterscheiden ist, und es gehört bekanntlich sehr gute Wahl der Entfernung des Beobachters, abgesehen von dem Ausschlusse der Ermüdung, dazu; der Erfolg ist aber dafür um so lohnender. Soweit wir im Stande sind über unsere Eindrücke zu berichten, müssen wir behaupten, dass uns jedes so erzeugte Weiss immer beträchtlich heller, wir möchten sagen, ganz über alles Maass heller, als die Vereinigung der beiden Intensitäten es erwarten liess, erschienen ist, als die Bilder der Componenten. Wir hoffen unsere späteren Ausfüh-

Digitized by Google

rungen zum Belege genommen zu sehen, dass uns die Wahrnehmung nicht getäuscht hat.

1. In Weiss aus Roth und Blaugrün fanden wir die Froschnetzhaut sehr rein und tief roth. Sie zeigte die gleiche Farbe wie das benachbarte reine Roth, in welchem betrachtet die Retina kaum vom Grunde zu unterscheiden war; von Purpur war selbstverständlich absolut nichts zu bemerken. Dieselbe Retina in's blaugrüne Bild gelegt, erschien schwarz. Zinnober erschien in solchem Weiss dunkelroth und Carmin war davon nicht zu unterscheiden.

2. In Weiss aus Gelbgrün und Violet sah die Retina bei richtiger Stellung, so dass von der Oberfläche weder grünliches, noch violettes Licht in's Auge reflectirte, oder durch ein geeignet gedrehtes *Nicol*'sches Prisma gesehen, grauviolet aus. Doch fanden wir einzelne Retinae, die einen grünen Schein behielten: es waren solche, die reich an grünen Stäbchen wären, wie wir sogleich durch das Mikroskop constatirten. Netzhäute vom Erdsalamander und Kaninchen zeigten die Erscheinung niemals. Zinnober war in diesem Lichte farblos, dunkelgrau, Carmin grauviolet, der Retina sehr ähnlich. Wir hielten *Boll*'s Farbenproben (Ber. d. Berl. Acad. Jan.-Heft 1877) neben die Retina in dieses Weiss und fanden seine Fig. 2 identisch grauviolet mit der Farbe der Netzhaut, dagegen Fig. 1 *a*, die mit Zinnober gedruckt zu sein scheint und die Farbe der Dunkelretina wiedergeben soll, davon sehr abweichend und genau so, wie unsern Zinnober. Wurde die Retina kurz in's Helle gehalten, so schlug die Farbe, im combinirten Weiss betrachtet, mehr in das neutrale Grau um, das die genannte Fig. 1 *a* darbot. Längeres Liegen des Präparates in diesem Weiss hatte dieselbe Folge.

3. Haben wir die Retina in Weiss aus Orange und Cyanblau,

4. in solchem aus Gelb und Indig, das am schwierigsten zusammenzubringen war, betrachtet. In beiden sah sie wie von

Digitized by Google

einem grauen Schleier überzogen aus, mit durchschimmerndem Gelb oder Orange; der graue Schleier war um so dunkler, je mehr reines Gelb, das Orange drang um so mehr durch, je näher dem Roth das zur Combination des Weiss verwendete Orange genommen werden musste. Wie schon oben bemerkt, war Grau gar nicht mehr zu sehen, wenn reines Roth als eine Componente gewählt wurde, und bei der Combination aus Gelbgrün und Violet fanden wir, dass umgekehrt dem Grau sich jetzt sogar die Farbe der stärker brechbaren, im Purpur am wenigsten vertretenen Componente, das Violet, beimischte; sie that es eben, weil sie die einzige in der Beleuchtung mit vorkommende war.

Liessen wir die Retina bis zum Brandroth, Orange, Chamois und Gelb ausbleichen, so traten diese Farben in dem Maasse hervor, als das Weiss dieselben enthielt. Die Stufe Orange wurde in 1) heller roth, in 2) rein grau, frei von Beimischung von Violet, in 3) orange mit ganz leichtem grauen Schleier, in 4) grau, durch welches aber schon sehr deutlich das Gelb durchschimmerte. — Die Stufe Chamois, in 1) immer noch roth, wurde in 2) hellgrau, in 3) immer reiner und heller orange, in 4) reiner gelb, das durch den noch vorhandenen leichten grauen Schleier scheinbar in's grünlich Gelbe überzugehen schien. — Die Stufe Gelb erschien in 1) hellröthlich, in 2) hellgelbgrün, in 3) ganz blass orange und in 4) hellgelb.

Ausser dem Weiss entsprachen unseren Zwecken noch einige andere Mischfarben, vor Allem der Purpur aus reinem Roth und Violet. Unsere Erwartung, dass die Netzhaut darin überaus brillant leuchtend, wie die Farbe des Grundes aussehen werde, hat uns in keiner Weise getäuscht. Dies ist das wahre Mittel, um zu erkennen, dass die völlig unbelichtete Retina purpurfarben und nicht roth ist, und es ist das beste Mittel, weil es bei intensivstem Lichte die längste Betrachtung gestattet, da sämmtliche zur Anwendung kommende Strahlen die geringste zersetzende Wirkung auf den Sehpurpur besitzen. Da wir alle Präparationen

Digitized by Google

in einem vortrefflich lichtdichten Zimmer unmittelbar neben dem gleichfalls gegen alles ungewünschte Licht geschützten Spectralzimmer vornehmen konnten, so waren wir immer in der Lage, das Folgende treffend zu demonstriren. Wir theilten eine Froschretina in zwei Hälften und belichteten die eine Hälfte einen Augenblick in mässig hellem Tageslichte. Sowie wir sie jetzt in den spectralen Purpur legten, zeigte sich die dunkel gehaltene heller als die belichtete, da bei letzterer nur noch Roth und kein Violet mehr reflectirt wurde, während die Helligkeit des Grundes und der unbelichteten Retina sich aus den Intensitäten des Roth und Violet zusammensetzte. Der Unterschied war ähnlich dem, welchen Zinnober und Carmin in dieser Beleuchtung zeigten, indem der erstere dunkler und stumpf, der letztere wie leuchtend erschien. An der Retina wurden diese Unterschiede schon deutlich, wenn wir im gemeinen Lichte noch keine Ahnung davon haben konnten, wo die um einen Augenblick länger geschützte Hälfte farbensinnigen Personen nicht um die kleinste Nuance verändert erschien, gegen die andere. Das Mittel hatte sich also bewährt und that es um so mehr, je weiter die Differenzen mit der Entstehung der brandrothen Nuance an dem wiederholt belichteten Präparate vorschritten. Im vorliegenden Falle ist es nicht sonderlich merkwürdig, dass Belichtung die Netzhaut dunkler macht, es ist aber auch für gewöhnliches weisses Licht nicht paradox und kann da nach sehr kurzer Einwirkung wohl merklich werden: denn indem der Sehpurpur in's Licht gelangt, schlägt er in's Brandrothe um, weil die Entstehung des Sehgelb beginnt; es wird aber nur ein Minimum Purpur zersetzt und nur so viel Sehgelb gebildet, dass etwas Violet verdunkelt wird, und diese Verdunklung ist bemerkbarer, als die geringe Aufhellung, welche dafür im gelben Lichte erfolgt. So erklärt es sich, wenn gesagt ist, das Roth der Netzhaut könne durch Belichtung auch verstärkt werden.

Unser Auge erhält bekanntlich noch von einem anderen

Digitized by Google

Farbenpaare die Empfindung Purpur, nämlich von der Mischung aus Roth und Blau. Indem diese Componenten erst Violet geben sollen, letzteres und Roth aber Purpur, hat man es in der Hand, durch Ueberwiegenlassen des Roth eine zweite Art Purpur, die wir Pseudopurpur nennen wollen, hervorzubringen. Nichts kann eindringlicher über die Beschaffenheit des Sehpurpurs belehren, als der Anblick, welchen die Dunkelretina im Pseudopurpur gewährt und als der Gegensatz dieses Bildes zu dem im wahren Spectralpurpur auftretenden. Während die Retina in diesem von der Purpurfarbe der Unterlage so wenig zu unterscheiden ist, dass man in Zweifel über die Grenzen der Membran gerathen kann, wo sie z. B. vom Glaskörper umgeben aufliegt, tritt sie in jenem als schreiend brandrother Fleck hervor, der um so heller ist, je weniger Blau in der Mischung steckt, um so dunkler roth, je weniger vom spectralen Roth genommen wurde. Es liegt in dieser Beobachtung der vollkommenste Gegenversuch zum vorigen und derselbe deckt zugleich ein Verhalten auf, das allen wirklichen Purpurfarben gemeinsam ist. Carmin in Substanz oder in NH_3 gelöst erweisen sich hier von gleicher Ordnung, wie der Sehpurpur, denn sie sehen im Pseudopurpur so rein roth aus, wie Zinnober, von dem sie hier gar nicht zu unterscheiden sind. Ein mit deckendem Rosa bedrucktes Papier, dessen Pigment wir nicht kannten, und dem man wohl ansah, dass Carmin daran gespart worden, enthielt dagegen Pseudopurpur, so dass in der gleichen Belichtung sogar Blau herauskam. Lackfarbenes CO-Blut verhielt sich wie Carmin und wie Sehpurpur. Unter fortdauernder Wirkung des Pseudopurpurs zersetzt, nahm die Retina erst heller rothe, endlich grau purpurne Färbung an: sie war in weissem Lichte betrachtet jetzt der Ausbleichung nahe und liess daher das Licht des Grundes nahezu unverändert durch. Hinsichtlich der Wirkung des Pseudopurpurs auf das menschliche Auge wollen wir nicht versäumen zu sagen, dass wir uns zwar nicht getrauen, richtige Mischungen aus Blau und Roth immer

Digitized by Google

von solchen aus Violet und Roth, also Pseudopurpur von Purpur zu unterscheiden, dass es uns aber niemals gelungen ist, mit der ersteren Combination die Empfindung des spectralen Violet herauszubringen. Derartige Entstehung des Violet wird zwar oft behauptet, aber das stimmt weder mit den Bezeichnungen, welche *Helmholtz* für diese Mischung wählt (Rosa), noch für unsere Wahrnehmungen und kann vermuthlich zum Belege für die historische Vernachlässigung des Farbensinnes vieler Menschenclassen dienen, deren Sünden sich heute auf das Violet concentriren.

Farbenanalyse der Purpurlösung.

Unter der ausserordentlich grossen Zahl chemischer Mittel, welche wir zum Auflösen des Sehpurpurs versucht haben, fanden wir bisher kein andres, als die Alkalisalze der Gallensäuren, und dass ein andres gefunden werde, wird uns mehr und mehr zweifelhaft. Es liegt dies wol weniger an einer Unlöslichkeit des Stoffes ohne Gleichen, als daran, dass alle Mittel, ausser der Galle, die ihn lösen könnten, es nicht ohne Zersetzung thun; in neuerer Zeit wenigstens wird es wahrscheinlich, dass es Mittel gibt, welche aus dem Sehpurpur im Dunkeln Sehgelb erzeugen und dieses in Lösung bringen. Statt der krystallisirten Galle und des Glycocholats (von gewissen Unregelmässigkeiten des Präparates abgesehen, vergl. Heft 1, S. 43) kann zum Auflösen der Stäbchen auch das Taurocholat oder reines cholalsaures Natron verwendet werden.

Weitere Erfahrungen haben uns gezeigt, dass die Stäbchen und der Purpur von vielen Thieren in Galle löslich und es überall nur so lange sind, als das Absterben keine tieferen Zersetzungen herbeigeführt hat. Ausser vom Frosche, Kaninchen und dem Rinde, gelang es filtrirte Purpurlösungen zu bereiten aus der Netzhaut der Eule, des Aals, des Erdsalamanders und der Kröte; Unterschiede wurden an dem Verhalten dieser Lösungen in keiner Beziehung bemerkt. Die Technik der Herstellung haben wir

Digitized by Google

vereinfacht, denn es stellte sich, wenigstens für die wärmere Jahreszeit, als besser heraus, die Netzhäute nur 1—2 Stunden mit der Galle in Berührung zu lassen und darauf zu filtriren. Wartet man länger, so scheint der Farbstoff von den Gewebstrümmern wieder fixirt zu werden. Ausserdem haben wir das Epithelpigment weniger fürchten gelernt und geben jetzt auch Netzhäute mit dessen schwarzem Belege in Lösung, unbekümmert um das Durchgehen der feinen schwarzen Körnchen durch das Filter, da sich dieselben nach 12—24 Stunden vollkommen zu Boden setzen, so dass die Purpurlösung klar abpipettirt werden kann. Die Lösungen trüben sich übrigens ausserordentlich leicht durch Bacterien und sind ungemein fäulnissfähig.

Was wir schon von der Farbe der Netzhaut bemerkten, nämlich die Eigenthümlichkeit in grösserer Concentration mehr in's Violette zu schlagen, als bei mittlerer, das haben wir viel schlagender und in wahrhaft erstaunlichem Grade an der Purpurlösung beobachtet und so auffällig, dass wir auf den Gedanken kamen, die Galle verursache Farbenveränderung. Wenn man etwa 30 Froschnetzhäute mit kaum einem Cub.-Cent. Galle behandelt, erhält man einen Brei, der aussieht, wie eine starke Lösung von Carmin in Ammoniak, also viel mehr violet, als roth. Leider ist darin der Sehpurpur nicht in solcher Menge wirklich gelöst, dass das Filtrat dieselbe Farbe erhielte, sondern dieses ist nicht anders, als carminroth zu erhalten, obwohl nichts Violettes oder Blaues auf dem Filter bleibt, wenn man mit Galle nachwäscht. Will man eine tiefviolette und dabei klare Lösung haben, so muss man das Filtrat über SH_2O_4 an einem warmen Orte, möglichst schnell, in einem nicht zu weiten Schälchen concentriren, damit sich keine rosenrothen, firnissartigen Ränder bilden. Was man jetzt erhält, hat die Farbe der ammoniakalischen Carminlösung und ist vollkommen klar. Wir haben kleine Tröpfchen solcher Lösung auf Objectträgern über SH_2O_4 ganz eingedunstet und dann mit dem Mikroskop betrachtet. Da fan-

Digitized by Google

den sich in dem festen Firnisse kleine, beinahe schwarze Körnchen, die wir anfänglich für nicht entferntes Epithelpigment hielten, obwohl sie nicht das Aussehen kleinster Krystalle hatten, wie dieses. Als der Firniss jedoch an der Luft, wie es die Galle thut, Wasser anzog, bildeten sich flüssige Augen oder Tropfen darin von tief dunkel violetter Farbe und die schwarzen Körnchen schienen sich zu lösen, und als wir das Präparat ordentlich befeuchtet an die Sonne legten und wieder über SH_2O_4 trockneten, war von den schwarzen Körnchen nichts mehr zu sehen. Dieselben konnten also wohl nichts Anderes gewesen sein, als ausgeschiedener, fester Sehpurpur.

An der Sehpurpurlösung kann in sehr eleganter und überraschender Weise der Farbenwechsel durch Verdünnung unter vollkommenem Ausschlusse der Zersetzung durch Licht demonstrirt werden. Wir verdünnten die dunkelviolette Lösung mit Wasser und sahen sie anfänglich in's Roth, in richtiges Carminroth schlagen, mit mehr Wasser versetzt, in Rosenroth, weiter in Rosa, später in helles Lila, endlich sehr stark verdünnt, so gut wie farblos werden. Keine Spur von Gelb trat dabei auf. Wer mit durchsichtigen Farben Bescheid weiss, wird hier an das Verhalten lackfarbenen Blutes erinnert, wo man Aehnliches kennt. Es kann schwer sein, zwei mit Aether durchsichtig gemachte Blutproben zu unterscheiden, von denen die eine O, die andere CO enthält, besonders wenn die Sättigung mit CO nicht vollkommen ist; nach 600—1000-facher Verdünnung unterscheidet man die Proben aber sofort und ohne alle Uebung, denn da zeigt sich, wie viel mehr blaues oder violettes Licht das CO-Blut durchlässt, als das andere: das erstere sieht gelblich, das vergiftete wie verdünnter Kirschsaft aus. An der Sehpurpurlösung ist dies ähnlich, nur viel auffälliger, weil das Roth durch Verdünnen weit mehr zurücktritt, der Art, dass man von der lilafarbenen Lösung kaum ahnt, dass sie durch Concentration auch in's Rothe schlagen könne. Wir machten uns selbst

Digitized by Google

den Einwand, wie man es soll und wie es dem Wesen alles experimentellen Vorgehens entspricht, die Verdünnung mit Wasser könne die Farbe chemisch ändern, aber die Sache war auch beim Verdünnen mit Galle, statt des Wassers, nicht anders und als wir die lilafarbene Lösung eindunsteten, wurde sie so rosa und später carminfarben, wie sie es vor der Verdünnung gewesen war. Da bekanntlich viele rothe Farbstoffe die Eigenthümlichkeit haben, in alkalischer Lösung violette, in saurer mehr rein rothe Nuancen anzunehmen und die Cholate alkalisch zu reagiren, haben wir die oben erwähnten Versuche mit cholalsaurem Natron angestellt, das einen Ueberschuss der freien Säure gelöst enthielt. Hiermit konnte man die Stäbchen und den Purpur eben so gut auflösen und die Nuancen wurden dann keineswegs geändert. Unten wird gezeigt werden, dass der Sehpurpur in die Classe der durch Säuren und Alkalien hin und her veränderlichen Farbstoffe überhaupt nicht gehört.

Ganz anders wie das Erblassen durch Verdünnung geschieht das Ausbleichen der Purpurlösung im Lichte, denn da handelt es sich um eine Zersetzung und die Farbe macht alle Nuancen der belichteten Retina durch, vom Purpur in's Roth, Orange, Chamois, Gelb, zum Farblosen. Ob die Farben alle zur Erscheinung kommen, hängt von der Intensität und Zersetzungsfähigkeit des Lichtes ab, das in diffuser Tagesbeleuchtung nicht immer gerade so ist, wie man es wünscht. Wir können ein gutes Mittel angeben, sich unabhängig von diesen Zufälligkeiten zu machen. Man braucht nur etwas Purpurlösung soweit zu belichten, dass sie gut gelb ist, was immer leicht gelingt, und damit unbelichtete Lösungen verschiedener Concentrationen mehr oder minder zu mischen. So haben wir aus tiefvioletten Flüssigkeiten Carminroth, mit mehr Sehgelb ein tieferes Brandroth, aus rosafarbenen und vollends mit bis zum Lila verdünnten Lösungen, Orange und Chamois erhalten. Damit klärt sich die Natur der Zwischenstufen, besonders der letzteren, etwas sonderbaren, in

Digitized by Google

unserer Sprache schwer zu bezeichnenden, völlig auf und es hat darum jetzt keinen Sinn weiter, beim belichteten Sehpurpur von mehr als drei, nach oder neben einander entstehenden und vorhandenen Stoffen zu reden. Der Sehpurpur, durch Licht zersetzt, gibt nur ein gefärbtes Product, das Sehgelb, welches in verschiedenem Grade mit noch unzersetztem Purpur gemischt, zu allen beobachteten Zwischenstufen der Netzhautfärbung führt. Das Sehgelb geht endlich durch Belichtung in eine gänzlich farblose Substanz, in Sehweiss über, von welchem sich noch zeigen wird, dass es durch einige optische Eigenthümlichkeiten zu erkennen ist.

Da in der Retina einiger Thiere (Frosch, Kröte) auch grüne Stäbchen vorkommen, so haben wir nicht unterlassen auf etwaige grünliche Nuancen Acht zu geben, die sich aus Sehgelb und minder rothen Nuancen des Purpurs hätten bilden können. Wir haben indess nie etwas darauf Deutendes gesehen, obwohl wir es anfänglich für denkbar hielten, dass der Purpur kein einfacher Körper, sondern ein Gemisch aus rothen und violetten, selbst blauen Stoffen sei. Photochemische Zersetzung mit Bildung eines rothen und eines blauen Körpers war ausserdem noch denkbar, selbst wenn man den Purpur für einfach hielt, und wenn der rothe zu Sehgelb wurde, konnte dieses immerhin durch Mischung mit dem andern blauen Spaltungsproducte zu Grün führen. Es wurde aber nichts der Art an Mischungen beobachtet, die wir mit den in verschiedenster Weise belichteten und darauf zusammengegossenen Purpurlösungen vornahmen. Das beschränkte Vorkommen der grünen Stäbchen in der Thierreihe und die unten folgenden Erfahrungen über ihre Entstehung sprechen endlich gegen die obengenannte Auffassung.

Setzt man zu einer am Lichte vollkommen entfärbten Purpurlösung sehr wenig unzersetzter, also zu überschüssigem Sehweiss Spuren von Sehpurpur, so wirkt dies genau, wie blosse Verdünnung, indem die Mischung lila oder rosa wird. Dies be-

Digitized by Google

weist, dass der Sehpurpur unter den gelösten Körpern an sich lichtempfindlich ist und nicht secundär durch irgend einen andern am Lichte sich erst bildenden, farblosen Stoff unter Entfärbung zersetzt wird.

Früher (Heft I, S. 48) wurde schon bemerkt, dass man in der Purpurlösung aus Froschnetzhäuten kein Hämoglobin finde. Dies hat sich seither aufgeklärt, denn es liegt hauptsächlich an der ziemlich schwierigen Löslichkeit der Froschblutkörperchen in Galle der von uns benutzten Concentration. Ausserdem mag der Schutz, den die umgebenden Gefässwände gewähren, von Bedeutung sein. Oft genug fanden wir in den Netzhautfetzen auf dem Filter wohl erhaltene Blutkörperchen in dem bekannten zierlichen Gefässnetze der Hyaloïdea liegen. Die Netzhäute vor dem Einlegen in Galle etwas in dünner Salzlösung abzuschwenken, bleibt jedoch rathsam.

Um die **Spectralanalyse der Purpurlösung** vorzunehmen, haben wir zwei Methoden befolgt: die Beobachtung in den Einzelfarben des objectiven Spectrums und die gewöhnliche des Vorschiebens vor das gesammte in den Spalt dringende Licht. Wir erörtern die erstere zunächst.

Das scharfe Sonnenspectrum wurde wieder durch Reflexion auf einer weissen, horizontalen Porzellan- oder Milchglasplatte entworfen, über welcher das kostbare Material möglichst sparsam auszubreiten war. Dies geschah indem wir aus derselben Capillarröhre Tropfen aus gleicher geringer Höhe auf eine besonders sorgfältig geputzte Glasplatte, in einer Reihe, mit möglichst kleinen Zwischenräumen fallen liessen. Da sämmtliche Tropfen annähernd denselben Umfang und gleiche Höhe hatten, so war damit Alles erreicht, was sich wünschen liess, und wir haben so mit unerwarteter Deutlichkeit dieselbe Absorption, wie an der Netzhaut constatiren können, nur noch um Vieles schlagender. Besah man den ziemlich durchsichtigen Milchglasstreifen, der die Tropfenplatte trug, von unten, so hatte man auf dem Spec-

Digitized by Google

trum im rothen und violetten Ende einige kaum bemerkbare Flecken, im Gelb einen hellgrauen und im Ende des Blau einen dunkelgrauen, dazwischen eine Reihe schwarzer Flecken. Durch die farblose Glasplatte allein und von unten betrachtet, sahen die Tröpfchen wie eben so viele rothe, violette, graue und schwarze Perlen aus, deren Verhalten sich aber alsbald in charakteristischer Weise änderte. Ueberraschend zierlich liess sich hier die Absorptionsänderung durch Belichtung zeigen, besonders im Violet. Wir setzten auf getrennte Glasstückchen Tropfen des klar gelösten Purpurs, hielten die einen kurz in's Tageslicht und schoben sie darauf neben den anderen in's violette Spectralende. Nun sahen die ersteren beinahe schwarz, die letzteren hellviolet aus und ähnlich auffallend war der Unterschied an den Schatten auf einem unter die Plättchen gehaltenen Papierblatte. Als diese Tröpfchen durch das ganze Spectrum bis in's Roth geführt wurden, erschienen sie in Blau und Grün gleich dunkel, aber wo das Grün anfing gelblich zu werden, schlug dies in's Gegentheil um, die belichteten wurden heller, die andern dunkler, und so blieb es mit abnehmender Deutlichkeit bis nahe an D, während darüber hinaus beide gleichmässig die Farben des Grundes, Orange und Roth, annahmen. Wir haben den Gang der Ausbleichung nach fortgesetzter Einwirkung des weissen Lichtes in Bezug auf die Absorption weiter verfolgt und constatirt, dass dieselbe im vorletzten Stadium nur noch im Indig zu bemerken ist, wo sie mit den letzten Spuren erkennbaren Sehgelbs endlich ebenfalls schwindet.

Zur Untersuchung des Absorptionsspectrums nach dem gewöhnlichen Verfahren liessen wir ein kleines doppeltes Hohlprisma (Fig. 3) aus Glasstreifen und Platten mit Canadabalsam zusammenkitten, das im Ganzen nicht mehr als 1,5 Cub.-Ctm. zur Füllung bedurfte. Zuerst wurde eine viereckige Glasplatte von 28 und 17 Mm. Seite mit dem längeren Rande gegen einen farblosen Objectträger gekittet, an den 3 übrigen Seiten mit

Digitized by Google

Glasrahmen von 4 Mm. Höhe umgeben und diagonal durch einen ebensolchen Glasstreifen getheilt. Bis auf den entsprechenden Ansatztheil am Objectträger und den gegenüberliegenden Rand des Kästchens wurde aussen Alles geschwärzt, so dass man nur durch die lange Seite des Kästchens und durch einen Streifen der Glasplatte, vor welchem Nichts absorbirt wurde, sehen konnte. Die optisch nutzbare Höhe des kleinen Doppelprisma betrug 3 Mm., die Länge 25 Mm. und die grösste nutzbare Dicke der eingefüllten Flüssigkeit 14 Mm. Wir füllten das vordere Prisma mit der zur Gewinnung des Purpurs dienenden farblosen Galle, das hintere mit der Purpurlösung, und befestigten den von einer Klemme an dem Objectträger gefassten Apparat an einem Stative so vor dem Spalte eines gewöhnlichen Spectralapparates, dass der Purpurkeil, dessen prismatische Wirkung durch das umgekehrt vorliegende Galle-Prisma aufgehoben wurde, vor dem Spalte horizontal verschoben werden konnte. In solcher Weise konnten nach einander dünnste und dickste Schichten bis zum Durchmesser von 14 Mm. auf die Absorption geprüft werden. Um den Purpur während der Untersuchung so wenig wie möglich durch Licht zu zersetzen, wurde die ganze Vorrichtung in's Dunkelzimmer hinter den Spalt im Fensterladen gesetzt, durch welchen gerade ausreichendes, zerstreutes Himmelslicht vom Heliostaten einfiel. Ausserdem wurde noch die freie Oberfläche der Lösung durch einen schwarzen Deckel geschützt. So war es möglich zuvor ein gutes, im Violet hinreichend helles Spectrum herzustellen und dasselbe ohne Uebereilung nach dem Durchgange des weissen Lichtes durch den Purpur in bekannter Weise zu untersuchen.

Fig. 3.

Bei allmähliger Verschiebung des Absorptionskästchens zeigte sich, dass die erste bemerkbare Beschattung in den Anfang des Grün vor E fällt, also da, wo dieses noch etwas gelblich

Digitized by Google

ist; mit wachsendem Durchmesser der Schicht nahm die Absorption mehr gegen das Grün und Blau, als gegen das Gelb zu, stieg dann sehr plötzlich im Blaugrün und erstreckte sich weiter in's Blau hinein. Zur Beschattung des Violet kam es bei der Concentration unserer Lösungen gar nicht, so wenig wie im Orange und im Roth. Nach partieller Zersetzung durch Belichten der Lösung von oben, sahen wir bei der Stellung des Keils, welche die erste Beschattung im Gelbgrün darbot, zuerst das Violet etwas verdunkelt, während der erstere Schatten wich, das Gelbgrün also heller wurde, und als wir jetzt die dickste Stelle des Keiles vorschoben, wurde Violet ganz ausgelöscht. In dieser Stellung wurde die Ausbleichung bis zum Ende geführt und man sah darauf der Reihe nach die Farben Gelb, Grün, Blau, und nach diesen das äusserste Indig und Violet aus der Verdunklung wieder hervortreten.

Wir haben endlich noch die Purpurlösung im partialen aus zwei Complementären gebildeten Weiss und in den Mischfarben, deren schon bei der Retina gedacht wurde, besonders im Purpur beleuchtet. Da das Verhalten ganz so wie bei jener war, so beschränken wir uns auf die Anführung der Uebereinstimmung.

Rückblick auf die Ergebnisse der Farbenanalyse.

Wem die Empfindung nicht sagt, welche Farbe die Retina eines im Dunkeln gehaltenen Auges hat, dem empfehlen wir aus den mitgetheilten Feststellungen über die Absorption des Lichtes im Sehpurpur das Facit zu ziehen. Er wird dann einsehen, dass es sich da um Etwas handelt, worüber nicht zu streiten ist, und dass es nichts Unverständigeres geben kann, als das Urtheil über diese Farbe von der Abbildung eines wie immer begabten Künstlers abhängig zu machen, dessen Aufmerksamkeit nicht darauf gelenkt worden, dass er eine Farbe copiren solle, welche bereits in der Nuance verändert ist oder es im nächsten Augenblicke und lange vor dem auffälligeren Abblassen sein wird. Ausserdem verwahren

Digitized by Google

wir uns gegen Einwendungen, welche aus Besichtigungen mit dem Taschenspectroskope oder gar mit einer der bis jetzt sehr unvollkommenen Einrichtungen, die als Spectroskope mit dem Mikroskope verbunden dienen, hergeleitet werden, denn wir haben gute Gründe gehabt, auch das letztere Mittel, nachdem wir es versucht hatten, zu verwerfen.

Da es sich bei der Retina und dem Sehpurpur um Absorptionsfarben handelt, so kommen nur die Empfindungen in Betracht, welche die nicht absorbirten Farben in unserem Auge erzeugen. Absorptionsfarben entstehen objectiv durch Subtraction vom weissen Lichte, und wie wir den Körper wahrnehmen, sagt uns ausser der Empfindung selbst die Erfahrung über anderweitig durch Addition hergestellte Mischung der durchgelassenen Farben. Wenn man also den Farbstoff gar nicht gesehen hat, kann man nach Feststellung der Absorption voraussagen, wie er gesehen wird. Wie weit das für den Sehpurpur zutrifft, zeigt die folgende Zusammenfassung.

1. In der grössten Verdünnung oder bei der dünnsten Schicht erkennt unser Auge am Spectrum des durchgegangenen Lichtes keine Absorption; die Empfindung ist weiss, wenn das Licht es ist. 2. Mit steigender Concentration beginnt die Absorption im Gelbgrün, es gehen mit Ausnahme dieser alle Farben durch und das Resultat ist Weiss plus der einen Farbe, deren Complementär fehlt, nämlich Violet; das gibt die Empfindung stark weisslichen Violets, also Lila. Wäre die Netzhautfarbe nur in solcher Verdünnung bekannt, so würde man sie nicht purpurn, sondern einfach violet nennen; sie zeigt aber mit wachsendem Durchmesser der Lösungsschicht Absorptionen in folgender Reihe: 3. Zum Gelbgrün wird das Grün beschattet, die Empfindung wird weisslicher Purpur, oder helles Rosa; 4. Gelbgrün, Grün, Blaugrün werden absorbirt, die Empfindung ist Rosa mit mehr Roth als in 3; 5. dehnt sich die Absorption auf das Cyanblau aus, die Empfindung wird Rosa mit noch mehr vorherrschendem

Digitized by Google

Roth, weil Indig und Gelb noch Weiss geben, Roth, Orange, und Violet übrig bleiben; 6. werden ausser den Vorigen Gelb und Indig absorbirt, die Empfindung wird beträchtlich gesättigter, da kein Weiss gebendes Paar mehr übrig ist, es bleiben Roth, Orange und Violet, die Empfindung ist die eines Purpurs mit stärker ausgesprochenem Roth; 7. Absorption aller Farben, wie bisher, aber von D nach C übergreifend; dies kommt in der Empfindung dem Violet des Purpurs zu Gute und derselbe nimmt die fast bläuliche, stark violette Nuance an, die man an der Retina des Frosches seltener, oft an der des Aals und der Eule, am schönsten und constant an der durch Eindunsten concentrirten Auflösung des Sehpurpurs vom Frosche sieht. Wir haben uns an diesen Objecten in der That überzeugt, dass sie in's rothe Ende des objectiven Spectrums gebracht, Absorption bis tief in's Orange zeigen, nämlich in dem Zwischenraume von C bis D, schon etwas vor dem letzten Dritttheile des an D grenzenden Abschnittes beginnend.

Wie es hat geschehen können, dass die vorstehenden Wahrnehmungen nicht überall direct gemacht wurden, glauben wir zu verstehen, wenn wir annehmen, dass nicht immer mit grösster Sorgfalt auf die Präparation der Retina im wenigst wirksamen Lichte geachtet oder das Besehen am Lichte nicht zeitig genug beendet wurde. Wenn man den ersten Umschlag aus Purpur in Roth daran gibt, ist freilich immer noch so viel auffällige Färbung an der Netzhaut wahrzunehmen, dass man ohne eingehende Erfahrungen glauben kann, Alles oder das Wesentliche gesehen zu haben. Dem ist jedoch nicht so und wir hoffen mit dem Folgenden zu zeigen, dass das Verhalten des Sehpurpurs im Auge und am Lichte nur verständlich wird, wenn man weiss, dass sogenanntes Sehroth schon ein photochemisches Zersetzungsproduct enthält und durch Verunreinigung des Purpurs mit den ersten Antheilen von Sehgelb entsteht.

Digitized by Google

Von der Fluorescenz der Retina und des Sehpurpurs.

Aus *Helmholtz*'s Untersuchungen (Pogg. Ann. XCIV.) ist die weissgrünliche Fluorescenz der menschlichen Retina im ultravioletten Lichte bekannt. Später wurde von *Setschenow* (v. Gräfe's Arch. V. 2.) dasselbe Verhalten auf *Helmholtz*'s Veranlassung an der möglichst frischen Netzhaut des Ochsenauges festgestellt.

In der Herstellung möglichst reinen ultravioletten Lichtes sind wir ganz den *Helmholtz*'schen Vorschriften gefolgt und wir haben die meisten unserer Versuche gleichfalls mit einem vorn versilberten Heliostatenspiegel ausgeführt. Spiegel von Neusilber, welche jetzt mehr zur Reflexion der ultravioletten Strahlen des Sonnenlichtes empfohlen werden, boten uns keine Vortheile; doch mag der Schliff des unsrigen nicht vollkommen genug sein. — Um es kurz zu sagen, nahmen wir einen ersten, mehr als 1 Centimeter weiten Spalt im Laden, eine Quarzlinse, dann das Quarzprisma, in welchem die optische Axe den einen Winkel von 50° halbirte, unter Benutzung eines der anderen nicht doppelbrechenden Winkel von 65°, und stellten die Combination so auf, dass das Bild des ersten unreinen Spectrums auf eine Ebene dicht hinter dem Prisma fiel. Hier war der zweite Spalt so eingeschoben, dass der vorgehende Rand gerade an das Ende des Violet fiel. Dahinter befand sich das zweite Quarzprisma und hinter diesem die zweite Linse kürzerer Brennweite aus Quarz. Ueberall, wo es nöthig war, wurden grössere schwarze Schirme zum Schutze gegen zerstreutes und reflectirtes Licht aufgestellt und ein letzter Schirm angewendet, um am Orte des ultravioletten Bildes abzublenden, was noch an Licht vom andern Spectralende stören konnte. Wir erhielten so auf Chinin, Aesculin, Fluorescin u. s. w. die herrlichsten Fluorescenzerscheinungen, und sahen mit derselben Ueberraschung, wie Andere vor uns, die ungemein auffällige, blaue Fluorescenz der Linse im lebenden Auge des Menschen, welche das Ansehen einer ausgebildeten Cataract hervorruft. Das reinste Ultra-

Digitized by Google

violet, das wir darzustellen vermochten, war übrigens nicht ganz so frei von langwelligem Lichte, als wir erwartet hatten, denn wenn wir es direkt mit einem Prisma oder mit dem Taschenspectroskope betrachteten, sahen wir immer noch andersfarbiges Licht, in einzelnen Fällen sogar etwas Roth. Dieses Licht war aber ausserordentlich schwach, so schwach, dass man in der Projection auf Papier gar nichts davon bemerkte, und jedenfalls zu schwach, um Täuschungen veranlassen zu können. Wenn von der Farbe des Sehpurpurs und anderer rothgefärbter Objecte absolut nichts in dem Lichte zu erkennen war, glaubten wir darüber beruhigt sein zu können. Einige Vorversuche belehrten uns über die Fluorescenz fast aller zur Hand befindlichen Dinge. Unter thierischen Gebilden zeichneten sich Sehnen, Fascien, Elfenbein, Knorpel in abnehmender Reihe, dann die Fingernägel, unsere Haut durch bläuliche Fluorescenz aus. Sehr schwach war dieselbe am frischen Querschnitte des Froschmuskels und mehr in's Grünliche spielend. An der Cornea des lebenden Auges sahen wir nur mässiges Leuchten, wie es beschrieben wird. Zur Unterlage für die Retina fanden wir, wie Andere, nichts Geeigneteres, als mattes Porzellan, obwohl dasselbe nicht ganz frei von Fluorescenz war. Um uns vor Verwechslung reflectirten Ultraviolets mit solchem, namentlich bläulichem Lichte, das durch Fluorescenz entstand, zu schützen, wandten wir wieder das *Nicol*'sche Prisma an, das vortheilhafter als Canarienglas diente.

Unbelichtete Netzhäute vom Frosch, Kaninchen, Rind und Schwein zeigten niemals die von *Helmholtz* entdeckte weisslich grüne Fluorescenz, sondern verbreiteten **weisslich blaues** Licht. Erst nach der zersetzenden Einwirkung des Tageslichtes trat das bisher bekannte weisslich grüne Licht auf, um so kräftiger, je vollständiger die Bleichung des Netzhautpurpurs erreicht war, und dann so intensiv, wie es schwerlich bisher gesehen sein dürfte. Abnahme des zerstreuten blauen Lichtes ist jedoch schon bemerkbar, wenn der Purpur in Orange umschlägt, deutlicher, wenn nur

Digitized by Google

Sehgelb sichtbar ist, am deutlichsten beim reinen Sehweiss, wo nur noch das grünlich-weisse Leuchten wahrzunehmen ist. An der Froschnetzhaut ist das blaue Leuchten nicht so rein, wie bei den Säugern, schon etwas ins Grünliche gehend und im Ganzen auch etwas schwächer. Auftrocknen der Membranen macht hier, wie bei den andern Netzhäuten die Erscheinung auffälliger, die Fluorescenz intensiver, sowohl bei erhaltenem, wie bei gebleichtem Purpur; die Aenderung der blauen zur grünen Fluorescenz erfolgte jedoch wie an den feuchten Objecten, wenn die Bleichung glückte.

In der Retina dürften nach unsern Erfahrungen zweierlei fluorescirende Schichten anzunehmen sein: die Stäbchenschicht und die gesammten vorderen Retinalgewebe. Die letzteren fluoresciren unter allen Umständen bläulich, aber immer sehr viel schwächer als die Stäbchen, gleichviel ob diese farbig oder gebleicht sind. Schabten wir im Natronlichte die Stäbchen an einer Stelle möglichst fort, so war der Ort im Ultraviolet sofort daran zu erkennen, dass er schwächer leuchtete und nach bleichender Belichtung erkannte man ihn nicht nur daran, sondern auch an der Farbe, als bläuliche, dunklere Insel in grünlichem Grunde. Es ist daher zur Erkennung des Helmholtz'schen Phänomens keineswegs gleichgültig, welche Seite der Retina dem erregenden Lichte zugewendet wird, denn das weisslich grüne Leuchten ist bezüglich der Farbe weniger deutlich, wenn die vorliegenden Schichten auch blaues Licht aussenden, vollends in der getrübten, todten Retina der Säugethiere.

Nach dem Gesagten wird man kaum zweifeln, dass die Fluorescenzunterschiede dunkel gehaltener und belichteter Retinae durch den Sehpurpur und dessen photochemische Zersetzungsprodukte bedingt werden. Wir haben die Erscheinung an der abgeschabten Netzhaut, wie erwähnt, ausbleiben oder sehr geschwächt gesehen; aber wir konnten sie an den abgeschabten Stäbchen mit der grössten Deutlichkeit bemerken. Es genügt, die nach sanftem

Digitized by Google

Streichen mit der Kochsalzlösung von der Ochsenretina ablaufende, von Stäbchen erfüllte, trübe Flüssigkeit zu nehmen, um daran, so lange sie farbig ist, die bläuliche, sobald sie verfärbt oder entfärbt ist, die grünliche Fluorescenz zu sehen. Dies war selbst ohne Unterlage und ohne einschliessendes Glas, kurz ohne alle die Dinge zu sehen, die etwa ausserdem fluoresciren konnten, nämlich an hängenden und fallenden Tropfen. Eintrocknen der Masse verstärkte die Erscheinung hier ebenfalls. Unter allen Umständen wurde endlich die grünliche Fluorescenz intensiver gefunden, als die bläuliche.

Hiermit war jetzt ein kostbares Mittel gefunden, um nicht allein dunkel gehaltene Retinae ohne nennenswerthe photochemische Aenderungen betrachten und auf den Zustand ihres Purpurs untersuchen zu können, sondern auch um das Sehweiss, für dessen Erkennung es bisher kein Mittel, als das nur unter gewissen noch unbewiesenen Voraussetzungen geltende der Regeneration durch das Retinaepithel gab, an Ort und Stelle anzuzeigen.

Was das Ultraviolet in dieser Hinsicht leistet, sahen wir sofort, als wir ein altes, trockenes, auf der mit Alaun behandelten Kaninchennetzhaut befindliches Optogramm, das vielfach ohne Schonung gezeigt und am Lichte fast verschwunden war, hinein hielten: es kam darin, wie augenblicklich entwickelt oder hervorgezaubert, mit erstaunlicher Deutlichkeit zum Vorschein, die belichteten Theile der Figur hellgrünlich leuchtend, die dunkleren viel matter und den immer noch etwas bläulichgrünen Schimmer zeigend. Wir halten es daher für nicht zu gewagt, das Ultraviolet als Mittel zu empfehlen, um geringe Differenzen belichteter und beschatteter Theile auf der Netzhaut zu unterscheiden, also da, wo unser Auge im gemeinen Lichte die ersten Spuren des Optogramms noch nicht bemerkt, oder da, wo die Zeichnung, wie an dem verdorbenen Optogramme, durch zu starkes Ausbleichen fast unkenntlich geworden ist. Im Augenblicke waren wir durch den Wunsch, die sonnige Jahreszeit für andere uns ge-

Digitized by Google

rade wichtigere Dinge auszunutzen, verhindert, die Methode nach dieser Richtung weiter auszudehnen und wir bemerken daher für Diejenigen, welche sich ihrer bedienen wollen, dass in Fällen, wo die Unterscheidung der bläulichen und der grünlichen in einander übergehenden Farben noch so schwach sein mag, die Intensität der Fluorescenz immer noch über locale photochemische Zersetzungen der Stäbchenfarbe entscheidet.

Von besonderer Bedeutung scheint uns der mit der Fluorescenz zu führende Nachweis, dass das Sehweiss die Grenzen der Stäbchenschichte nicht verlässt, also nicht darüber hinaus in die vorderen Gewebsschichten eindringt. Wurde eine vollkommen an der Sonne entfärbte Netzhaut mit intensiv weissgrün leuchtender Rückfläche stellenweise der Stäbchen beraubt, so erkannte man dies im Ueberviolet sofort an der viel geringeren Helligkeit und an dem mehr bläulichen Glanze der defecten Stellen. Da von den Stäbchen beim Abstreifen vorzugsweise die Aussenglieder fortgehen, halten wir es zugleich für wahrscheinlich, dass das Sehweiss nicht weit und in keinen grösseren Mengen in die Innenglieder dringt.

Seit man die Entfärbung des Sehpurpurs durch Licht an der isolirten Retina kennt und seit man weiss, dass es da eine lichtempfindliche, die Farbe verlierende Substanz giebt, wird sehr allgemein angenommen, dass die ungemein langsame Ausbleichung der Retina im Leben auf demselben Vorgange beruhe, und die Hypothese ist deshalb auch zulässig, weil man im Epithel der Retina den Regenerator kennt, der die grosse Resistenz des Purpurs im Leben gegen Licht bewirken und die Schwierigkeit der vollständigen Entfärbung erklären kann. Man ist jedoch mit befremdender Leichtigkeit über den Umstand hinweggegangen, dass der Sehpurpur und das Epithel sich möglicher Weise im Leben anders verhalten können, und scheint ganz vergessen zu haben, dass im lebenden Auge auch die Resorption, wenigstens an so langsamen Vorgängen, wesentlichen Antheil haben

Digitized by Google

kann. Wir wissen darüber wenig, aber Das ist erkennbar, dass Blutfülle und Strömung im belichteten Auge andere sind, als im dunkel gehaltenen. Uns war es freilich auch nicht besonders wahrscheinlich, dass der Sehpurpur im Leben auf Lichtwirkung anders, als durch Zersetzung am Orte schwinde, aber wir finden den Beweis unumgänglich, dass dies die einzige Ursache sei. Nachdem *Michel* ein menschliches Auge von normaler Sehschärfe nach mehrstündiger Verdunkelung purpurfrei gefunden hat (Centralbl. f. d. Med. Wiss. 1877 Nr. 24), weiss man zum mindesten, dass der Sehpurpur nicht ausschliesslich durch Licht aus den Stäbchen schwinden kann.

Mittelst der Fluorescenz hofften wir über die Frage entscheiden zu können, ob die Stäbchen *intra vitam* das photochemische Zersetzungsprodukt des Sehpurpurs in derselben Weise, wie die der isolirten Netzhaut nach der Bleichung durch Licht enthalten. Zu dem Ende wurden Froschretinae, die nach dem Herausnehmen auf einer Glasplatte bis zur Farblosigkeit besonnt waren, und solche, welche im lebenden Frosche durch längeres Aussetzen in besonnte Aquarien ihre Farbe verloren hatten, im Ultraviolet verglichen. Das Ergebniss bestand in einer erheblichen Differenz: während die ersteren das bereits geschilderte Verhalten zeigten, kräftiges grünliches Leuchten, war an den letzteren das Licht bedeutend schwächer und die grünliche Farbe wenig wahrnehmbar über dem bläulich durchleuchtenden Grunde der vorderen Schichten.

Hiernach ist ein Verlust von Sehweiss in den Stäbchen des lebenden Auges nach hinreichender Belichtung unzweifelhaft und man wird dies kaum anders, als durch Resorption bedingt, auffassen können. Wir sind jedoch nicht der Ansicht, dass solche Aufsaugung die photochemisch zersetzlichen Stoffe im unveränderten, noch unzersetzten Zustande treffe, denn zwischen den Netzhäuten von Fröschen, die gerade ausgebleicht waren, und solchen, welche statt $^1/_2$ Stunde eine ganze, zwei und mehr

Digitized by Google

Stunden im Lebenden in der Sonne verweilt hatten, gab es Unterschiede zum Nachtheile der letzteren, und wir zweifeln selbst, dass es durch tagelange Besonnung gelinge, die Stäbchenfluorescenz vollständig zu tilgen. Wir sehen in dem Gange der weiteren Untersuchungen über das physiologische Verhalten des Sehpurpurs eine Eventualität voraus, wo die Unterschiede zwischen isolirt gebleichten Netzhäuten, welche kein Material einbüssen können und solchen, welche von strömenden Säften beeinflusst werden, von Bedeutung werden können.

Unsere Erfahrungen über die Fluorescenz der menschlichen Netzhaut sind z. Z. leider noch recht unvollkommen, aber wir halten es für geboten, so viel davon mitzutheilen, als wir bis heute an diesem immer nur durch besondere Gunst erreichbaren, kostbaren und wichtigen Materiale festzustellen vermochten. Wie wir an der Netzhaut im Dunkeln gehaltener und getödteter Säugethiere erst die Stäbchenfluorescenz in der unvergleichlich auffälligeren Weise zu sehen bekamen, indem wir den Purpur nach Isolation der Membran, wo kein Sehweiss abhanden kommen konnte, am Lichte zersetzten, während alle früheren Beobachtungen von der im Leben bereits gebleichten und darum wenig Sehweiss enthaltenden Retina nur schwache Andeutungen der Erscheinung zu gewähren vermochten, so hofften wir an dem Auge im Dunkeln Verstorbener die *Helmholtz*'schen Angaben besonders deutlich bestätigt zu finden. Ausserdem rechneten wir darauf, an dem Verhalten der Fovea centralis Einiges über An- oder Abwesenheit der Fluorescenz in den Zapfen zu erfahren, nachdem wir bei der Retina der Schlange (Tropidonotus natrix) eine äusserst schwache und durch Belichtung, wie es schien, weder zu verstärkende noch in der Farbe zu ändernde bläuliche Fluorescenz wahrgenommen hatten. Die bei der Schlange ausschliesslich vorkommenden Zapfen haben indess so kleine Aussenglieder, an denen meist viel Substanz des Pigmentepithels haftet, dass wir von dem überdies negativen Befunde wenig befriedigt,

Digitized by Google

um so grössere Erwartungen auf die ersten uns zukommenden menschlichen Augen setzen mussten.

Zunächst haben wir nicht das Glück gehabt, die Augen an einem sonnenklaren Tage zu empfangen: wir mussten deshalb die Netzhäute in Stücke zerlegt, zum Theil im Lichte, zum Theil im Dunkeln auf Porzellanplättchen auftrocknen, was unter Verhütung der Fäulniss mit möglichster Geschwindigkeit in Exsiccatoren geschah, welche Gefässe mit Schwefelsäure mit sehr grosser Oberfläche enthielten.

Ueber die Augen ist nach der vom behandelnden Arzte gegebenen Auskunft Folgendes zu berichten: Das Paar Nr. I stammte von einem 36jährigen, an Epilepsie leidenden, in Folge von Pachymeningitis, Leptomeningitis, Encephalitis acuta verstorbenen Manne. Zwei Stunden vor dem Tode (1. Juli, 10 Uhr Morgens) war das Zimmer verdunkelt worden; Abends 8 Uhr wurden die bis dahin verbunden gebliebenen Augen im Scheine eines weit entfernten Talglichtes exstirpirt und in Eis bewahrt. — Der Besitzer der Augen Nr. II starb am 2. Juli, 2 Uhr Morgens in einem schon am Tage vorher dunkel gehaltenen Zimmer. Die Section ergab hochgradige Atrophie und Sklerose des Gehirns nebst einigen encephalitischen Corticalisheerden. Die Augen wurden um $4^1/_2$ Uhr Morgens bei schwacher Talglichtbeleuchtung exstirpirt, ebenfalls in Eis verpackt und mit Nr. I bis 11 Uhr Morgens desselben Tages uns zur Untersuchung übergeben.

In allen vier Augen war der Purpur merkwürdig schwach entwickelt, bei I schwächer, als bei II, äquatorial überall am schwächsten[1]). Bei II lag die rosafarbene Grenze um 3 mm.,

[1]) Anmerkung. Das Verhalten dieser Netzhäute erinnert sowohl an den neuesten merkwürdigen Befund gänzlicher Abwesenheit des Sehpurpurs in einem lange verdunkelten Auge von *Michel* (l. c.), wie an einen früher (Heft 2 d. Unt.) von mir mitgetheilten. An 3 Augenpaaren menschlicher Leichen fand ich nunmehr trotz lange vor dem Tode begonnener Verdunk-

Digitized by Google

bei I der noch als lila zu erkennende Rand etwa 1 mm. hinter der Ora serrata. Von Nr. I wurde für die hier mitzutheilenden Beobachtungen kein Gebrauch gemacht, weil die Retina an vielen Stellen mit einzelnen oder ganzen Gruppen von Pigmentzellen besetzt blieb. An sämmtlichen Augen fiel die unlösbare Verbindung der Retina mit dem Glaskörper auf und eine andere bisher an so conservirten Augen noch nicht bemerkte Erscheinung, die in der leichten Ablösung grösserer, nur aus zusammenhängenden Stäbchen und Zapfen gebildeter Fetzen bestand. Da die Retinae schon die bekannten cadaverösen Falten zeigten, was wir

---

lung unerwartet geringe Färbung der Stäbchen und bei diesen übereinstimmend am schwächsten in der Gegend des Aequators. In zwei Fällen ist der Verdacht cadaveröser Zersetzung ganz ausgeschlossen, aber ein solcher kann weder gegen den obigen Fall Nro. I noch überhaupt jemals aufkommen, weil ich mich auch bei der menschlichen Retina überzeugt habe, dass längere und intensivste Fäulniss die Membran wohl fast zerfliessen macht, aber bei Ausschluss des Lichtes nicht im Geringsten entfärbt. Ich bin daher sehr geneigt anzunehmen, dass die Regeneration des Sehpurpurs in vielen Fällen allmähligen Verlöschens des Lebens nach Krankheiten vor dem letzten Athemzuge und vor dem abschliessenden Herzschlage bereits stark vermindert oder vernichtet ist, so dass das Leichenauge unter gewissen Umständen in der That die Effecte einer geraume Zeit vor dem Tode stattgefundenen Belichtung noch verrathen könnte. Was mir früher das Unwahrscheinlichste zu sein schien, nämlich dass die Regeneration zuerst in der Aequatorialzone, zuletzt im Grunde des Auges erlösche, Das scheint mir jetzt, nachdem ich solche, in mässiger Entfernung von der Macula lutea und dem Opticuseintritte noch am besten gefärbte Netzhäute 6mal gesehen habe, am Annehmbarsten. Da man nicht wissen kann, wie es um der Regeneration vergleichbare Processe in der Fovea centralis und an den Zapfen überhaupt steht, so muss hinsichtlich des von mir aufgestellten Satzes, dass nur Stäbchen, niemals Zapfen Sehpurpur enthalten, an die älteren Beobachtungen über die constante Farblosigkeit aller Zapfenaussenglieder sämmtlicher Thiere und besonders in der Fovea des Affenauges erinnert werden, welche den am Leichenauge des Menschen zu erhebenden Bedenken nicht unterliegen. Im Uebrigen erlaube ich mir an Diejenigen, welche zu solchen Untersuchungen Gelegenheit finden, die Aufforderung zu richten, Zeichen eines etwaigen Schwindens des Sehvermögens in der Agone möglichst zu beachten. W. K.

Digitized by Google

der gerade herrschenden sehr hohen Temperatur, welcher die Augen bis zur Exstirpation ausgesetzt waren, zuschrieben, waren wir um so mehr überrascht, an einzelnen jener aus dem Salzwasser mit dem Objectträger glatt herausgefischten Fetzen, Stäbchen wie Zapfen von vollkommenster Erhaltung und in der gewohnten zierlichen Weise angeordnet zu finden.

Das Material von Nr. II wurde in der Weise geordnet, dass wir die beiden sehr gut kenntlichen Maculae mit der nicht durchlöcherten Fovea auftrockneten, die eine am Lichte, die andere im Dunkeln; ebenso wurde mit Stücken der bestgefärbten Zone am Grunde des Auges, sowie mit Streifen von der Ora serrata und mit einzelnen der zarten, nur von Stäbchen gebildeten Häutchen verfahren, deren entsprechende Vorderschichten wir ausserdem noch in Verwendung nahmen. Als am 6. Juli wieder Sonnenlicht zur Verfügung stand, nahmen wir die Untersuchung im übervioletten Lichte vor. Dieselbe ergab sehr schwache, der Farbe nach kaum zu bestimmende Fluorescenz des eingetrockneten Glaskörpers, von welcher wir um so weniger gestört zu sein meinen, weil alle Präparate mit der Rückseite nach vorn und möglichst vor dem Ueberfluthen des Glaskörpers geschützt ausgebreitet waren. Die stärkste und zwar weissgrünliche Fluorescenz war an den gebleichte Stäbchen tragenden oder nur aus Stäbchen bestehenden Theilen zu sehen, die schwächere und bläuliche an den ungebleichten, so wie an den der Stäbchen beraubten, gleichviel, ob dunkel oder im Lichte gehaltenen Stellen, die schwächste am farblosen Theile der Ora serrata, wo vorausgegangene Belichtung auch gar keinen Unterschied bedingt hatte. In der Macula lutea sahen wir am belichteten, wie am dunkel gehaltenen Präparate deutlich bläuliches Licht zerstreut werden, worin sich die Fovea geradezu als dunkler Fleck abgrenzte.

Wir können das eben Angegebene aus mehreren Gründen nur als provisorisch betrachten, denn es fehlte der uns zur Verfügung gewesenen Netzhaut vor Allem der normale Pur-

Digitized by Google

purgehalt, und hinsichtlich des gelben Fleckes und der Fovea sind wir bei der seltsam leicht erfolgten Ablösung ganzer Gebiete zusammenhängender Zapfen und Stäbchen nicht in der Lage, die Erhaltung dieser Gebilde an den untersuchten Stellen zu behaupten. Wir sind nur des einen Umstandes sicher, dass die Foveae keine Löcher hatten. Mit vollkommener Sicherheit können wir daher nur Das für die menschliche Retina behaupten, dass die Stäbchenschicht der Sitz der stärksten Fluorescenz ist und im purpurnen Zustande bläulich, im gebleichten grünlich und am stärksten fluorescirt, während die vorderen Schichten schwach bläuliche, durch Belichtung nicht veränderliche Fluorescenz besitzen.

Für die Frage vom Sehen des ultravioletten Lichtes mittelst unseres Auges, geben die vorstehenden Beobachtungen kaum Aufschlüsse, schon weil es im Allgemeinen äusserst unwahrscheinlich ist, dass der Chemismus des Sehpurpurs sich an specifischen Farbenwahrnehmungen betheilige. Die *Helmholtz*'sche Annahme, dass wir das Ultraviolet eigentlich wie lichtschwaches Violet, aber modificirt durch die grünliche Fluorescenz der Retina, und in Folge dieser, Lavendelgrau sehen, wird von unsern Befunden ebensowenig berührt, insofern die Fluorescenz der Zapfen mehr in Betracht käme, von der wir noch keine zuverlässige Kenntniss haben. Da man denken könnte, dass die nicht grünliche, sondern schwach bläuliche Fluorescenz der vorderen Retinaschichten Einfluss auf unsere Wahrnehmung des Ultraviolet gewinne, erlauben wir uns an den Einwand zu erinnern, welchen *Helmholtz* aus gleichem Anlasse bereits gegen die Mitwirkung des von der Linse zerstreuten blauen und viel lebhafteren Fluorescenzlichtes gemacht hat, und zu berichten, dass wir von einem intelligenten Manne, dem auf einem Auge die Linse extrahirt war, nur Aeusserungen über seine Wahrnehmung des Ultraviolet vernommen haben, die auf völlige Gleichheit mit der unsrigen schliessen liessen. Leider bestand auf dem andern Auge eine Linsentrübung,

Digitized by Google

so dass der Betreffende nicht über etwaige Unterschiede der Empfindung an sich selbst urtheilen konnte. Wurde ihm die getrübte Linse ultraviolet beleuchtet, so nannte er seine Wahrnehmung blau.

Obwohl bis heute mit dem Augenspiegel kaum Aufschlüsse über den Sehpurpur erreicht sind, haben wir gern von der Freundlichkeit des Herrn Prof. *O. Becker* Gebrauch gemacht, der an dem genannten, der Linse beraubten Auge einen Versuch machte, die Fluorescenz der Netzhaut ophthalmoskopisch zu erkennen. Das Licht erwies sich zu diesem Zwecke jedoch als zu schwach und es wurde nichts erreicht. Gleichwohl meinen wir erneute Versuche, vielleicht mit minder reinem, nur einmal gebrochenem, intensiverem Ultraviolet an aphakischen Augen empfehlen zu sollen, denn im Falle des Gelingens würde nichts Geringeres, als die Sichtbarkeit des Optogramms im Auge des lebenden Menschen in Aussicht stehen.

Um die Erfahrungen über Fluorescenz der Netzhaut soweit abzuschliessen, als es bei dieser Gelegenheit anging, haben wir noch das Verhalten der Lösung des Sehpurpurs im Ultraviolet beachtet. Wir fanden darin auffallend brillantes blaues Leuchten, aber die an der Sonne gänzlich ausgebleichte Lösung stand der purpurfarbenen kaum nach. Wie sich herausstellte, rührte die Erscheinung von der farblosen Galle her, welche diese Fluorescenz in solchem Grade besitzt, dass die des Sehpurpurs und des Sehweisses darin unkenntlich wird. Da verdünnte Lösungen von cholalsaurem Natron viel geringere blaue Fluorescenz entwickelten, benützten wir diese zur Auflösung des Purpurs und fanden daran, was sich erwarten liess, nämlich Verstärkung des blauen Scheines, so lange der Purpur unzersetzt war, Steigerung der Lichtintensität mit Uebergang in's Grünlichblaue nach der Ausbleichung im Sonnenlichte. Wir müssen jedoch hervorheben, dass die Erscheinungen hier nicht entfernt mit der Deutlichkeit ausgesprochen waren, wie an der Retina oder an der früher erwähnten Stäbchenemulsion.

Digitized by Google

In der Voraussetzung, dass es die photochemischen Zersetzungsprodukte des Sehpurpurs seien, welche der Netzhaut die stärkste Fluorescenz ertheilen, haben wir den Versuch gemacht, die ultraviolette Beleuchtung als Mittel zu benutzen, um zu erfahren, ob einige Reagentien, welche die Netzhaut und den Sehpurpur im Dunkeln verfärben oder bleichen, daraus dieselben Zersetzungsprodukte erzeugen, wie sonst das Licht. Was wir darüber jetzt mittheilen, kann nur als ein Anfang derartiger Untersuchungen betrachtet werden, denn wir verhehlen uns nicht wie gefährlich es ist Schlüsse zu ziehen, wo eine einzige, wenn auch noch so empfindliche Reaction an die Stelle der zahlreichen, dem Chemiker allgemeiner gewohnten tritt. In der Ueberzeugung aber, dass ein so wichtiger und auf gewöhnlichen Wegen kaum angreifbarer Körper, wie der Sehpurpur, sich seine eigene Methodik erst schaffen müsse, haben wir die folgenden naheliegenden Beobachtungen nicht unterlassen.

Was den Sehpurpur im Dunkeln ändert, pflegt es z. Th. in derselben Weise zu thun, wie das Licht, d. h. erst eine gelbe Materie, dann farblose Substanz hervorzubringen. Der Kürze wegen und um dem Auslande unsere Bezeichnungen zugänglich zu machen, kann man sagen, Rhodopsin werde erst in Xanthopsin, dieses in Leukopsin zersetzt. Wir werden unten über die in dieser Hinsicht brauchbaren Mittel mehr berichten und beschränken uns hier auf die Mittheilung des Verfahrens, welches das einfachste war, um nach Bedürfniss das eine oder das andere Zersetzungsprodukt zu erhalten.

Bekanntlich hat das Chlorzink die Eigenschaft die Fluorescenz vieler Stoffe zu verstärken und so wirkt es auch auf die Sehweiss enthaltende Retina. Eine isolirte, am Lichte gebleichte Netzhaut, mit einer dünnen Chlorzinklösung getränkt, sieht im Ultraviolet sofort viel heller und glänzender weissgrün aus, als zuvor. Vorgängiges Behandeln mit Alaun oder Trocknen sind dafür kein Hinderniss. Legt man die purpurne Retina im Dunkeln

Digitized by Google

in Chlorzink, so wird die Farbe, je nach der Concentration der Lösung in kürzerer oder längerer Zeit gelb, in ziemlich verdünnter Lösung nach 24 Stunden. Das jetzt entstandene Xanthopsin scheint nicht verschieden von dem durch Licht erzeugten zu sein, obwohl es in der Retina sehr langsam, bei intensivem Lichte erst nach einigen Stunden farblos wird. Es ist dies keine Eigenthümlichkeit des Sehgelb, sondern bedingt durch die Fixirung am Substrat, wodurch der Körper weniger lichtempfindlich wird, was, wie unten gezeigt werden wird, durch sehr verschiedene Mittel zu erreichen ist. Im Dunkeln zersetzt Chlorzink das Xanthopsin nicht weiter, die Retina bleibt gelb. Als wir dieselbe im Ultraviolet betrachteten, fanden wir die Fluorescenz so gut wie erloschen: es war nur ein kaum wahrnehmbarer bläulich grauer Schein vorhanden. Wir schliessen hieraus, dass unter den Stoffen, welche in den Stäbchen vorkommen können, nur der Purpur und das Sehweiss fluoresciren, das Sehgelb nicht oder kaum. War Das richtig, so musste die in Chlorzink gelb gewordene Netzhaut nach längerem Liegen und Abblassen am Lichte starke weissgrüne Fluorescenz annehmen, und dies sahen wir wirklich in der auffälligsten Weise eintreten. Wir empfehlen zu dem Versuche das Chlorzink, weil es vor anderen Reagentien die Eigenschaft hat, das Xanthopsin auch nach längerer Wirkung nicht in Leukopsin zu verwandeln, und weil es auf das Rhodopsin nur insofern zu wirken scheint, als es Xanthopsin erzeugt, denn die bläuliche Fluorescenz der Dunkelretina verstärkt es niemals; der erste Erfolg besteht da immer in einer Schwächung, selbst wenn die Netzhautfarbe noch ziemlich roth ist, der letzte beinahe in Vernichtung des Fluorescenzlichtes.

Heft 1. S. 59 wurde schon bemerkt, dass langwelliges Licht die Netzhautfarbe vorwiegend zu gelben Nuancen, kurzwelliges zur Farblosigkeit bringt, wie dies genauer im folgenden Capitel belegt werden soll. Es ist aber hier schon am Orte über die Aenderungen der Retina-Fluorescenz nach monochromatischer

Digitized by Google

Belichtung zu berichten. Dieselben können damit kurz bezeichnet werden, dass es kein farbiges Licht gibt, welches ausschliesslich Xanthopsin an der frischen Retina erzeugt, denn wenn wir die letztere im spectralen Orange, das sehr langsam und am wenigsten gerade auf das Xanthopsin wirkt, nur so lange hielten, dass eben eine Veränderung der Färbung zu erkennen war, so fanden wir nicht Abnahme, sondern Zunahme der Fluorescenz mit deutlichem Uebergange zur grünlichen Nuance des zerstreuten Lichtes, wie es geschehen musste, wenn neben dem Sehgelb aus diesem schon etwas Sehweiss gebildet war. Dagegen fanden wir im violetten und im ersten Theile des ultravioletten Spectrallichtes, welche beide Sehgelb entfärben, ein Mittel, um eine ganz frische Retina so zu ändern, dass darin neben dem noch nicht zersetzten Sehpurpur keine Spur von Sehgelb optisch nochzuweisen war, indem offenbar jede kleinste Menge eben gebildeten Xanthopsins sofort weiter in Leukopsin verwandelt wurde. So brachten wir es dahin, eine Netzhaut nur wenig und ohne Aenderung der purpurnen Nuance durch Licht erbleichen zu lassen, während sich ihre Fluorescenz beträchtlich verstärkt und mehr zum Grün, als zum Blau neigend zeigte.

Zum Schlusse ist hier noch eines Einwandes zu gedenken, der uns durch die bisherigen Untersuchungen über Fluorescenz begleitete: die Stäbchen der Dunkelretina konnten etwas neben dem Sehpurpur enthalten, das fluorescirte und dessen Fluorescenzlicht durch Absorption seitens des Purpur verdeckt wurde; erblich der Purpur, so musste die grünliche Fluorescenz zum Vorschein kommen. Wir müssen in dieser Hinsicht darauf aufmerksam machen, dass es viele rothe und purpurfarbene Stoffe gibt mit lebhaft grüner Fluorescenz, die also ein Licht aussenden, von dem man erwarten sollte, dass es besonders stark absorbirt werde, eben weil die Lösungen solcher Körper im durchfallenden Lichte die complementäre Färbung zeigen. Für manche Stoffe, wie für das Chlorophyll z. B. scheint Etwas der Art auch zuzu-

Digitized by Google

treffen. An der Retina aber handelt es sich immer um Zerstreuung eines durchaus nicht einfarbigen, sondern, wie schon *Helmholtz* angibt, eines erheblich weisslichen Lichtes, und da gerade dieses, obschon mit grünlicher Nüance, nach dem Erbleichen des Purpurs mit so verstärkter Intensität hervorbricht, ist es recht unwahrscheinlich, dass der Purpur in der dünnen Schicht es vorher zurückgehalten haben sollte. Dass er dazu unfähig ist, lehrt überdies die so viel lebhaftere Fluorescenz einer im violetten Lichte kaum angebleichten Netzhaut. Ausserdem wäre es schwer zu verstehen, wie die Fluorescenz des supponirten Körpers dazu kommen sollte, verborgen zu bleiben, wenn durch Dinge, die wie das Chlorzink wirken und Sehgelb erzeugen, der Sehpurpur zersetzt und eine Farbe übrig geblieben ist, welche so gut wie kein Hinderniss für die Aussendung grünlich-weissen Lichtes bilden kann. So weit wir es absehen können bliebe uns nur der Einwand entgegen zu halten, dass neben dem Sehpurpur ein zweiter durch Licht veränderlicher, farbloser Körper in den Stäbchen praeexistire, der sämmtliche Wandlungen unter gleichen physikalischen und chemischen Einflüssen mit dem Purpur in gleichem Sinne durchlaufe und sich nur an dem Erlöschen seiner Fluorescenz in dem Stadium, wo jener zu Sehgelb wird, durch Annahme des Fluorescenzvermögens zur Zeit, wo das Sehweiss entsteht, zu erkennen gäbe.

Dass diese Fluorescenzerscheinungen von Structurverhältnissen und deren Aenderungen ganz unabhängig sind, lehren einerseits unsere Versuche an der Purpurlösung und falls diese noch nicht für rein genug zu erachten sind, unsere Erfahrung, dass keine Behandlungsweise, welche den Purpur unzersetzt lässt, die Structur dagegen nach allen denkbaren Richtungen verändert, etwas über die Fluorescenz und deren Veränderlichkeit im Lichte vermag. Wir empfehlen zum Belege dessen u. A., die starke Veränderung der Froschnetzhaut, besonders ihrer Stäbchen, in Verwendung zu nehmen, welche Schütteln mit destillirtem Wasser, oder

Digitized by Google

beliebig wiederholtes Gefrierenlassen bewirken, was im Dunkeln, wie gegentheiligen Angaben gegenüber hervorzuheben leider nöthig ist, keinerlei Aenderung am Sehpurpur erzeugt.

Von der Zersetzung der Stäbchenfarbe und des Sehpurpurs durch spectrale Belichtung.

Frühere Beobachtungen (Heft I pag. 59) hatten die Thatsache ergeben, dass der Sehpurpur nicht wie so viele seither bekannte lichtempfindliche Stoffe durch die violetten und ultravioletten Strahlen am leichtesten zersetzt wird, sondern dass es, in Uebereinstimmung mit unserer subjectiven Empfindung, die gelbgrünen und grünen Strahlen sind, welche am schnellsten eine Umwandlung des Purpurs in die oben beschriebenen Bleichungsstufen bewirken. Da wir nun bei der vorgeschrittenen Jahreszeit häufiger von sonnenhellen Tagen begünstigt waren, so wurden diese Beobachtungen, die damals nur an verhältnissmässig wenigen Versuchen gemacht werden konnten, einer nochmaligen gründlichen Prüfung unterzogen. Aus dem früher beschriebenen Versuche, bei dem eine Reihe von Netzhäuten im objectiven Sonnenspectrum ausgebreitet war, ging hervor, dass bei dem damaligen niederen Sonnenstande, nach 21 Min. in Grüngelb die Bleichung fast vollendet, dass dieselbe nach 45 Min. allmählig bis zum Cyanblau fortgeschritten war und sich etwas mehr nach der Linie D zu ausgebreitet hatte. Es war ferner nach 1 Stunde 43 Min. fast vollständige Ausbleichung von D bis in die Mitte des Violet zu constatiren, während im Roth die Veränderung bis zur Orangefärbung der Netzhaut und im äussersten Violet bis zu einem röthlichen Chamois fortgeschritten war. Auch in den Anfängen des Ultraroth und Ultraviolet waren Spuren der Ausbleichung zu bemerken. Versuche dieser Art wurden von Ende April an, im Mai und im Juni in gleicher Weise mehrfach wiederholt und ergaben ganz das gleiche Resultat, nur dass, dem jetzt hohen Sonnenstande entsprechend, die Ausbleichungszeiten überhaupt viel kürzer gefunden

Digitized by Google

wurden. Im Grüngelb vor der Linie E war fast direkt nach der Exposition schon eine Veränderung des Farbentons in Brandroth zu bemerken, und nach 3 Min. war dort mitunter schon vollständige Ausbleichung vorhanden. Dieselbe hatte sich in etwa 5 Min. nach der Linie D hin und meist bis über F ausgedehnt, und nach 20 Min. Exposition war häufig von D—G fast vollkommene Ausbleichung zu constatiren, während zu dieser Zeit auch alle übrigen Theile des sichtbaren Spectrums mehr oder weniger deutliche Anfänge des Ausbleichung zeigten. Endlich nach 35—40 Min. begann auch die Ausbleichung in dem zunächstliegenden Ultraroth und Ultraviolet, zu welcher Zeit im sichtbaren Theile des Spectrums vom Grüngelb bis zur Mitte des Violet die Ausbleichung vollkommen, im Gelb und äussersten Violet nahezu vollendet und im Roth bis zur Chamoisfärbung fortgeschritten war.

Zum Belege dieser Beobachtungen theilen wir folgenden Versuch mit, bei welchem die anhaltende Sonne eine ziemlich lange Exposition gestattete.

Versuch 1. Am 27. April wurden 10 Retinae von Dunkelfröschen auf einem Milchglasstreifen dem objectiven Sonnenspectrum exponirt, nachdem wir uns von der gleichmässigen Purpurfarbe derselben überzeugt hatten. Sie waren so im Spectrum vertheilt, dass

1) im Ultraroth,
2) von Roth bis Orange lag,
3) gerade von der Linie D,
4) von E halbirt wurde,
5) mit dem linken nach dem rothen Ende gelegenen Rande die Linie F berührte,
6) im Blau bis G,
7) und 8) zwischen G und H und
9) und 10) im Ultraviolet lagen.

Die Exposition fing an um 11 Uhr 20 Min.

Digitized by Google

Um 11 Uhr 25 Min. waren 4), 5), $3^1/_2$) fast ausgeblichen,
$^1/_2$3) und $^1/_2$6) chamois, die Uebrigen noch purpurn gefärbt.

[Durch die Bezeichnungen $^1/_2$x und x$^1/_2$ sollen die beiden Hälften einer Netzhaut unterschieden werden, wenn in denselben ein verschiedener Grad von Ausbleichung oder verschiedener Färbung bemerkt wurde, und zwar ist unter $^1/_2$x immer die nach dem rothen Ende zu gelegene, unter x$^1/_2$ die nach dem violetten Ende zu gelegene Hälfte zu verstehen.]

Um 11 Uhr 40 Min. waren 4) und 5) ganz ausgebleicht,
3) und 6) fast ausgebleicht,
7), 8), 2) chamois; 7) weiter als 8), dieses weiter als 2) in der Ausbleichung,
1), 9) und 10) noch purpurfarben.

Es bewirkten also alle Theile des sichtbaren Spectrums entweder vollständige Ausbleichung oder die Anfänge davon.

Um 11 Uhr 55 Min. waren 4), 5) ganz ausgeblichen,
3), 6) kaum noch sichtbar gefärbt,
7), 8), 2) hell chamois,
$1^1/_2$) orange, in
9) war der Anfang der Ausbleichung zu bemerken.
$^1/_2$1) und 10) waren noch unverändert.

Um 12 Uhr 15 Min. zeigten sich 4), 5), $3^1/_2$) ganz ausgeblichen; in
$^1/_2$3), 6) war kaum noch Färbung zu sehen.
7), 8), 2) sahen sehr hell chamois,
$1^1/_2$) chamois aus, und in
9) war die Ausbleichung deutlicher als vorher, während
$^1/_2$1) und 10) noch unverändert waren.

Es ist also nach 55 Min. von der Linie D bis etwas über

Digitized by Google

F hinaus die Ausbleichung vollständig, während von D nach dem rothen Ende hin und im Blau und Blauviolet die Abnahme der Ausbleichung beginnt. Im äussersten Ultraviolet und Ultraroth war zu dieser Zeit noch gar keine Ausbleichung zu bemerken.

Um eine andere Art von Vergleichung für die Intensität der Wirkung der einzelnen Theile des Spectrums zu haben, stellten wir Versuche in folgender Weise an: Wir wählten die pag. 153 beschriebene Aufstellung zur Erzeugung des Spectrums und isolirten mittelst des *Helmholtz*'schen Doppelspaltes ein reines Grün und ein reines Blau. Hinter die beiden Spalte stellten wir die halbirten Linsen eines Stereoskops so auf, dass die Brennpunkte der beiden Strahlenbündel, oder richtiger gesagt, die Bilder des grossen oblongen Diaphragmas, das nahe hinter der Linse stand, in eine Ebene fielen. Da die Stereoskoplinsen ziemlich kurze Brennweite hatten, waren die Bilder klein und in Folge davon recht lichtstark. Wir probirten nun, um wie viel weiter man den Spalt im Blau machen musste, um mit beiden Farben gleiche Wirkung zu erzielen. Zuerst hatten wir den Spalt für Grün 2 Mm. und für Blau 3 Mm. weit gewählt und fanden, dass das Grün nach 3 Min. Exposition schon deutlich stärker ausgeblichen hatte als das Blau, in welchem noch kaum eine Veränderung zu bemerken war. Nach 9 Min. war im Grün die Ausbleichung vollendet, während im Blau noch deutliche Färbung vorhanden war. Es war mithin der Spalt im Grün noch viel zu breit und wir mussten die beiden Spaltbreiten so wählen, dass dieselben für Grün 1 Mm. und für Blau 4 Mm. betrugen, um endlich in den beiden Farben gleich schnelle Wirkung zu erzielen. Bei dem letzten Verhältnisse schienen uns dann auch subjectiv die beiden Bilder von gleicher Helligkeit, so weit überhaupt zwischen verschiedenen Farben Vergleichung der Empfindungs-Intensitäten möglich ist, während uns vorher das grüne Bild immer viel heller erschienen war als das blaue.

Diese an Froschnetzhäuten gewonnenen Resultate waren schon

Digitized by Google

früher durch Versuche mit Kaninchennetzhäuten controlirt und wurden auf's Neue durch Bleichungsversuche an Netzhäuten vom Ochsen im Sonnenspectrum bestätigt. Auch hier war sehr bald Ausbleichung im Gelbgrün zu bemerken, welche sich von da allmählig nach den Enden des Spectrums hin ausdehnte.

Obgleich die Versuche im objectiven Sonnenspectrum unter sich in vollkommener Uebereinstimmung waren und früher Gefundenes auf's Vollkommenste bestätigten, so liess uns doch die Erfahrung, dass die relativen Ausbleichungszeiten unter gefärbten Gläsern und Flüssigkeiten nicht damit übereinstimmten (vergl. Heft I pag. 4 und 70), nach Einwürfen suchen, die gegen die Bleichung im objectiven Sonnenspectrum gemacht werden könnten. Da im Sonnenspectrum, wie wir es durch Zerlegung mit Prismen erhalten, das violette Ende immer ganz bedeutend stärker ausgedehnt ist, als das rothe, so könnte die relativ langsamere Ausbleichung im Blau und Violet im Vergleich zum Grün darin ihren Grund haben, dass Blau und Violet durch die starke Ausdehnung zu viel an Intensität eingebüsst hätten. Der allenfalls hieraus entspringende Fehler wurde umgangen, indem wir das objective Spectrum nicht durch ein Prisma entwarfen, sondern die mit Hülfe eines feinen Gitters erzeugten Interferenzspectren in Anwendung brachten. Professor *Quincke* hatte die Freundlichkeit, uns zu diesem Zwecke ein Silbergitter zu überlassen, welches als galvanoplastischer Abdruck eines äusserst feinen, in Glas geritzten, ausgezeichneten Nobert'schen Gitters gewonnen war. Durch Reflexion des von dem Heliostaten kommenden Strahlenbündels erhielten wir genügend lichtstarke Gitterspectren, deren Intensität sich für Ausbleichungen vollständig ausreichend zeigte. Wir hatten vorher auch Proben mit Russgittern gemacht, fanden aber die mit diesen erhaltenen Spectren zwar sehr rein, aber entweder zu schmal, oder, wenn sie die nöthige Breite hatten, zu lichtschwach, um für unsere Zwecke brauchbar zu sein. Mit Hülfe des Silbergitters erhielten wir nun reflectirte

Digitized by Google

Spectren (es wurde immer nur das 1ster Ordnung verwendet), bei denen im Gegensatz zu den prismatischen der rothe Theil die grösste Ausdehnung zeigte.

Während bei den mittelst Brechung erzeugten Spectren die Entfernungen von Linie D—F, F—G und G—H untereinander fast vollkommen gleich sind und die Breite vom Anfange des sichtbaren Roth — Linie D etwa $^2/_3$ der Entfernung von D—F beträgt, finden wir im Gitterspectrum die Linien so vertheilt, dass durch D und F das Spectrum in 3 fast ganz gleiche Theile getheilt wird, mithin die Abstände vom Anfang des Roth bis D, D—F und F—H als gleich angesehen werden können. Während also im prismatischen Spectrum das Blau und Violet, von F—H, mehr als die Hälfte des ganzen Spectrums einnehmen, beträgt dieser Theil im Gitterspectrum nur etwa $^1/_3$, und während im letzteren das rothe Ende, vom Anfange bis D, etwa $^1/_3$ des ganzen Spectrums ausmacht, wird dieser Abschnitt im prismatischen Spectrum noch nicht einmal gleich $^1/_4$ des sichtbaren Spectrums befunden. Ebenso ist das Grün im Gitterspectrum verhältnissmässig gedehnter, denn es repräsentirt darin die Strecke von D—F, also wesentlich Grün und Blaugrün, den dritten Theil des Spectrums und sie ist gleich dem ganzen Blau und Violet, gleich F—H; im Prismatischen dagegen hat F—H gerade die doppelte Breite wie D—F.

Diese Gitterspectren wurden nun zu einer neuen Folge von Ausbleichungsversuchen verwendet. Die Versuchsanordnung war entweder so getroffen, dass entsprechend dem mittelst Prisma erzeugten, objectiven Sonnenspectrum, eine Linse in einer Entfernung vom Spalt, die gleich ihrer doppelten Brennweite war, und in halber Brennweite dahinter das Silbergitter aufgestellt wurde, oder, dass das Licht vom Spalt direkt auf das etwa $1^1/_2$ bis 2 Meter entfernte Gitter auffiel, und erst zwischen diesem und dem Schirm die Linse angebracht war. Der Schirm mit den Netzhäuten wurde natürlich in einer Ebene aufgestellt, in der das

Digitized by Google

Spectrum auf's Deutlichste die *Fraunhofer*'schen Linien zeigte. Ein bei schlechtem Wetter angestellter Versuch schien uns Anfangs ein anderes Resultat, wie die Versuche mit dem prismatischen Spectrum zu geben, denn wir konnten dabei kaum Differenzen in den Ausbleichungszeiten zwischen Grün und Blau constatiren; als jedoch die Versuche mit gutem Lichte mehrfach wiederholt wurden, fanden wir auch hier die gleichen relativen Verhältnisse in der Wirksamkeit der verschiedenen Spectralfarben, wie dies aus den folgenden Versuchen zu ersehen ist.

Versuch 2. Am 18. Juni wurde die erste Art der Aufstellung gewählt und 8 Netzhäute in folgender Weise im Gitterspectrum vertheilt:

1) lag als Controlretina ganz ausserhalb des Spectrums,
2) im Ultraroth:
3) wurde von der Linie C,
4) von D,
5) von E halbirt,
6) wurde von F getroffen,
7) grenzte rechts an H, während
8) ganz im Ultraviolet lag.

Die Exposition begann um 11 Uhr 48 Min.

Um 11 Uhr 52 Min. ist in 5) schon der Beginn der Ausbleichung zu bemerken.

Um 11 Uhr 57 Min. ist 5) dunkel chamois und bei 4½) und 6) Beginn der Ausbleichung zu sehen.

Um 12 Uhr 2 Min. ist 5) hell chamois, so dass es kaum noch grün absorbirt,
4) dunkel chamois, wovon ½4) etwas weniger ausgebleicht ist;
6) zeigt sich dunkel chamois und in
½7) ist der Anfang der Ausbleichung zu bemerken.

Um 12 Uhr 9 Min. sah ½4) dunkel chamois aus,
4½) war hell chamois,

Digitized by Google

5) ganz hell chamois,

6) hell chamois;

1/27) war schon chamois gefärbt und in

7 1/2) der Anfang der Ausbleichung zu erkennen.

Die Uebrigen waren noch nicht verändert.

Bis jetzt waren die Beobachtungen der Ausbleichung im dunklen Zimmer selbst, bei dem Schein eines Zündhölzchens, notirt. Um sicherer zu gehen, wurde

um 12 Uhr 13 Min. die Retina schnell bei gedämpftem Tageslichte betrachtet; die Beobachtung ergab, dass

1), 2), 3) nicht verändert,

1/24) röthlich chamois,

4 1/2), also von D an, hell chamois war, dass

5) fast ganz ausgeblichen gefunden wurde;

6) sah sehr hell chamois,

1/27) hell chamois,

7 1/2) hell röthlich chamois aus und in

8) konnte ein Anfang von Ausbleichung bemerkt werden.

Um 12 Uhr 25 Min. wurden die Retinae nach inzwischen fortgesetzter Belichtung im Spectrum nochmals bei Tageslicht betrachtet. Es waren

1), 2), 3) nicht verändert und noch deutlich purpurfarben,

1/24) hell röthlich chamois,

4 1/2) fast ausgeblichen, bis hell gelb,

5) ganz ausgeblichen, bis auf Spuren von Hellgelb,

6) ganz ausgeblichen, bis auf Spuren von Hellrosa,

1/27) fast gänzlich ausgeblichen, bis zu hellröthlichem Chamois,

7 1/2) fast ganz ausgeblichen bis zu einem hell röthlichen Scheine;

8) war bis zu röthlichem Chamois verändert.

Digitized by Google

Die bei diesen Versuchen verhältnissmässig starke Wirkung des äussersten Violet und Ultraviolet war jedenfalls zum Theil darauf zurückzuführen, dass sich bei der gewählten Aufstellung (die Linse stand zwischen Spalt und Gitter) am violetten Spectralende ziemlich viel vom Silbergitter reflectirtes, diffuses weisses Licht befand. Wir wählten daher für den folgenden Versuch die oben beschriebene zweite Art der Aufstellung; d. h. wir liessen das aus dem Spalt am Heliostaten kommende Sonnenlicht direct auf das Silbergitter auffallen und stellten die Linse so auf, dass gerade nur das reflectirte Gitterspectrum 1ster Ordnung darauffiel und in scharfer Zeichnung auf dem Schirm aufgefangen werden konnte. Es gelang uns auf diese Weise ein Spectrum zu erhalten, welches recht frei von diffusem Tageslichte war. Dasselbe war natürlich viel kleiner, als das bei der ersten Aufstellung; es war etwa so gross, dass gerade 3 Froschnetzhäute, bequem neben einander liegend, den sichtbaren Theil desselben deckten.

Versuch 3. Am 19. Juni wurden darin 3 Retinae exponirt und zwar lag 1) im reinen Roth,

2) im Gelbgrün bis Blaugrün und

3) vom Blau bis in's Violet.

Die Exposition begann um 10 Uhr 55 Min.

Um 11 Uhr war 1) noch unverändert,

2) ging in orange über und

3) wurde noch purpurn gefunden.

Um 11 Uhr 5 Min. zeigte sich, am Tageslichte besehen,

1) noch unverändert,

2) mehr ausgeblichen als 3) und zwar

$^1/_2$2) bis gelblich chamois,

2$^1/_2$) bis chamois ausgeblichen;

$^1/_2$3 sah dunkel röthlich chamois und

3$^1/_2$) noch roth aus.

Um 11 Uhr 10 Min. war 1) unverändert,

Digitized by Google

$^1/_2$2) hell gelblich chamois,
$2^1/_2$) hell chamois,
$^1/_2$3 röthlich chamois und
$3^1/_2$) röthlich gefärbt.

Um 11 Uhr 15 Min. wurden die Netzhäute wieder am Tageslichte besehen; es war in

1) der Anfang der Ausbleichung zu constatiren, aber die Retinafarbe war noch kaum bemerkbar verändert;
$^1/_2$2) war hellgelblich,
$2^1/_2$) hell chamois,
$^1/_2$3) hell röthlich chamois und
$3^1/_2$) hell röthlich gefärbt.

Wir sehen also auch hier durch die Versuche mit den Gitterspectren die Resultate, die wir mit den durch Prismen erhaltenen Spectren gewonnen hatten, vollkommen bestätigt, obgleich die relative Breite der Farben eine ganz andere war. Auch hier begann die Ausbleichung in der Gegend der Linie E und war da am schnellsten vollendet, breitete sich von da über Blaugrün, Grünblau, in Indig aus, erstreckte sich dann über Violet, Gelb und Orange, um zuletzt im Roth und Ultraviolet und am schwächsten im äussersten Roth und Ultraroth bemerkbar zu werden. —

Bei diesen Versuchen über Ausbleichung des Sehpurpurs zeigte sich nun aber bei genauerer Betrachtung neben der nun sicher constatirten Differenz in den Ausbleichungszeiten verschiedener Spectralfarben, noch eine andere für die verschiedene Wirkungsweise der Farben nicht weniger wichtige Erscheinung. Es waren nämlich, selbst wenn im grössten Theile des Spectrums die Ausbleichung als fast vollkommen angesehen werden konnte, so dass man nicht mehr gut sagen konnte, ob z. B. im Grünblau die Ausbleichung weiter fortgeschritten sei, als im Anfang des Violet, doch noch Unterschiede zu erkennen, und zwar Un-

Digitized by Google

terschiede in der Nuance der geringen Reste von Färbung, die noch in den fast ausgeblichenen Netzhäuten vorhanden war. Während in den mittleren Theilen des Spectrums die Ausbleichung sehr leicht bis zu einem sehr hellen Gelb gebracht werden konnte, sahen wir am violetten Ende niemals diesen Farbenton auftreten, sondern als letzten Ueberrest von Netzhautfarbe immer nur ein ganz helles, röthliches Chamois oder meistens eine helle Rosenfarbe zurückbleiben. Es kann sogar vorkommen, dass bei sehr langer Exposition im Grün an den Netzhäuten noch Spuren von Gelb zu erkennen sind, wenn im Indig und Violet gar nichts mehr von Färbung zu bemerken ist, so dass also schliesslich hier die Ausbleichung weiter fortgeschritten ist, als im Grün, von dem wir doch wissen, dass es den Purpur entschieden viel schneller zersetzt, als die Strahlen des violetten Endes. Es lässt sich dieses Verhalten nur erklären, wenn wir annehmen, dass die mittleren Theile des Spectrums den Purpur zwar sehr viel schneller zersetzen, dass aber die schnelle Zersetzung sich nur auf die Umwandlung von Sehpurpur in Sehgelb bezieht, während der weitere Uebergang von Sehgelb in Schweiss dann viel langsamer erfolgt; dass dagegen im Violet die Umsetzung des Purpurs in Sehgelb sehr langsam geschieht, aber einmal gebildetes Sehgelb dann um so schneller in Schweiss übergeführt wird. So erklärt es sich leicht, dass die Farbe der im Violet ausbleichenden Retina zwar allmählig heller wird, aber selbst gegen das Ende des Versuches hin immer noch deutlich unveränderten Purpur erkennen lässt, denn dieser kann nicht durch gleichzeitig vorhandenes Sehgelb zu Chamois verdeckt werden. (Vergl. Heft I. S. 59).

Zur ganz sicheren Feststellung der letzt beschriebenen Verhältnisse, die als neuer Beweis für die oben aufgestellten Bleichungsstufen, Sehpurpur, Sehgelb, Schweiss dienen mussten, wurden die Ausbleichungsversuche auf's Mannigfaltigste variirt. Gleichzeitig sollte dabei der endgültige Entscheid ge-

Digitized by Google

liefert werden über die relativ verschiedenen Ausbleichungszeiten in den Farben ungleicher Wellenlänge.

Zunächst wurden die Ausbleichungszeiten und Bleichungsstufen bestimmt mit Hülfe der Methode, die sich oben (pag. 151) für die Analyse der Retinafarbe und zur Untersuchung von Farben überhaupt als fruchtbar erwiesen hatte, indem wir nur zwei Farben aus dem Spectrum herausgriffen und auf die oben (Fig. 2) näher erörterte Weise so zur partiellen Deckung brachten, dass immer 3 Retinae gleichzeitig der Ausbleichung unterworfen werden konnten: zwei in den beiden reinen Spectralfarben und eine in deren Mischfarbe, respective dem combinirten Weiss.

Versuch 4. Weiss wurde zuerst combinirt aus Grüngelb und Blauviolet und von 3 Netzhäuten von Dunkelfröschen 1) in Grünlichgelb, 2) in Weiss und 3) in das Violet gelegt. Um 10 Uhr 35 Min. am 8. Juni wurde die Exposition begonnen.

Nach 5 Min. waren 1) und 2) etwas angebleicht, gleich in der Färbung, aber noch roth;
3) war noch unverändert.

Nach 10 Min. waren 1) und 2) chamois,
3) noch schön roth gefärbt.

Nach 15 Min. erschienen 1) und 2) hell chamois,
3) dunkel röthlich chamois.

Nach 23 Min. sahen 1) und 2) sehr hell chamois,
3) röthlich chamois aus.

Nach 30 Min. waren 1) und 2) fast vollständig ausgeblichen, während
3) noch deutlich röthlich chamois gefärbt war.

Versuch 5. Am 8. Juni combinirten wir Weiss aus Gelb (nach Orange hin gelegen) und Blau, und exponirten um 11 Uhr 35 Min. 3 Retinae: 1) im Gelb, 2) im Weiss, 3) im Blau.
Nach 5 Min. war 1) noch unverändert;

Digitized by Google

2) und 3) zeigten beginnende Ausbleichung bis Dunkelorange.

Nach 12 Min. hatte in 1) die Ausbleichung angefangen und war in 2) und 3) bis zu Dunkelchamois vorgeschritten.

Nach 18 Min. waren alle 3 Netzhäute bis Chamois ausgeblichen. Sie zeigten keine grossen Unterschiede in der Färbung, jedoch war 1) am wenigsten, 2) am meisten ausgeblichen.

Versuch 6. Als drittes Farbenpaar zur Combination von Weiss wählten wir Orangeroth und Grünblau und exponirten am 12. Juni um 10 Uhr 35 Min. 3 Netzhäute, 1) in Orange, 2) in Weiss und 3) in Grünblau.

Nach 5 Min. war in allen Dreien schon ein Beginn der Bleichung zu bemerken, aber deutliche Unterschiede zeigten sich erst

nach 10 Min. Es war dann 1) zwar angebleicht, aber noch roth und 2) und 3) chamois gefärbt, aber 3) etwas dunkler als 2).

Nach 15 Min. zeigte 1) Chamois-Färbung, 2) war fast ausgebleicht und 3) nur noch hell chamois gefärbt.

Nach 20 Min. war 1) noch heller chamois als vorher und 2) fast vollkommen ausgeblichen; die Retina zeigte nur noch Spuren einer sehr hellgelblichen Chamoisfärbung und auch 3) war schon bis zu einem sehr hellen Chamois verändert.

Versuch 7. Endlich wurde Weiss noch aus Roth und Blaugrün zusammengesetzt, und am 11. Juni um 10 Uhr 28 Min. mit der Exposition dreier Retinae begonnen. 1) lag im Roth, 2) im Weiss und 3) im Blaugrün.

Nach 3 Min. war 1) noch kaum bemerkbar verändert, als

Digitized by Google

2) und 3 schon merklich bis dunkelchamois ausgeblichen waren und

nach 12 Min., als 1) immer noch brandroth gefärbt war, zeigte sich

2) schon fast ausgeblichen, nur noch sehr hellgelblich gefärbt, und auch in

3) war die Ausbleichung bis hellchamois fortgeschritten.

Bei diesen Versuchen tritt nun im Vergleiche mit den Ausbleichungsversuchen im Spectrum das Uebergewicht von Grüngelb bis Cyanblau über das violette und rothe Ende, in Betreff der bleichenden Wirkung auf Sehpurpur noch bei weitem schlagender hervor. Dort konnten die Unterschiede nicht so auffallend sein, da alle Uebergangsstufen dazwischen lagen, während hier die Retinae, die der Einwirkung verschiedenfarbigen Lichtes ausgesetzt waren, direkt neben einander beobachtet werden konnten.

So sehen wir zum Beispiel im Versuch 7 im Grün schon eine Ausbleichung bis hellchamois, während die Retina, die im Roth lag, noch kaum verändert ist; wir sehen bei Versuch 4 im Grüngelb schon die Chamois-Nüance auftreten, zu einer Zeit, wo im Violet noch schön rothe Färbung vorhanden ist.

Schon geringer sind die Unterschiede zwischen den Wirkungen von Cyanblau und Orange, aber in Versuch 6 war doch noch sehr deutlich ein Ueberwiegen des ersteren zu constatiren. Noch kleiner werden die Differenzen in Versuch 5, bei dem reines Gelb und Blau in ihrer bleichenden Wirkung verglichen wurden. Es konnte aber auch hier noch deutlich eine etwas schnellere Ausbleichung im Blau beobachtet werden. Was nun die Ausbleichung im combinirten Weiss betrifft, so finden wir darin fast immer eine etwas grössere Wirkung, als in den beiden Einzelfarben; es haben sich offenbar die Wirkungen der beiden Componenten summirt. Da aber meistens eine sehr schwach wirkende, mit einer sehr stark bleichenden Farbe combinirt war, so konnte selbst-

Digitized by Google

verständlich die Differenz zu Gunsten des Weiss über die stark bleichende Componente nur eine sehr geringe sein. — Dass die ausbleichende Wirkung der Mischfarbe einfach entsteht durch Summirung der bleichenden Kräfte der Einzelfarben, zeigte sich auch bei Versuchen mit Farbencombinationen, die bei ihrer Vereinigung andre Farben als Weiss gaben. Unser nächstes Streben ging dahin, die Farbe der Netzhaut selbst möglichst genau aus Roth und Violet zu mischen und die Wirkung des so erhaltenen Purpurlichtes auf die Netzhaut zu untersuchen, da man nicht wissen konnte, ob nicht gerade für Purpur vielleicht Abweichungen von der oben angegebenen Regel bestanden.

Versuch 8. Ein solcher Purpur, der möglichst der Farbe der unveränderten Retina entsprach, wurde in gleicher Weise wie die verschiedenen Weiss durch partielle Deckung von Roth und Violet erzeugt und von 3 Netzhäuten um 11 Uhr 45 Min. am 11. Juni 1) in Roth, 2) in den Purpur und 3) in das Violet gelegt. Für diesen Versuch nahmen wir die Abschnitte aus dem Spectrum, die zur Combination verwendet werden sollten, etwas breiter, als in den vorhergehenden, um bei den zwei besonders schwach wirkenden Componenten keine allzulange Exposition nöthig zu haben.

Nach 5 Min. zeigte sich in allen 3 Netzhäuten eine ganz schwache Ausbleichung, die in 2) etwas deutlicher war, als in 1) und 3).

Nach 15 Min. war die Ausbleichung bei allen deutlich zu bemerken, aber überhaupt noch sehr schwach. In 2) war sie am besten zu erkennen; 1) zeigte die geringste Veränderung.

Wir haben also, unserer Voraussetzung entsprechend, trotz der sehr intensiv leuchtenden Farbe des Purpurs, nur eine verhältnissmässig sehr schwache Wirkung erreicht. Es war dies leicht verständlich, da wir es mit der Combination derjenigen Farbentöne zu thun hatten, die erfahrungsgemäss am schwächsten eine Zersetzung des Sehpurpurs einleiten; dennoch war auch hier

Digitized by Google

die Bleichung im Purpurlichte etwas weiter fortgeschritten als im Roth und Violet für sich; die Wirkung war etwa gleich der Summe der Wirkungen der beiden letzteren.

Als Bestätigung dieser letzten Beobachtung können wir noch einen Versuch anführen, der, auf ganz andre Weise angestellt, das gleiche Resultat gab.

Versuch 9. Wir entwarfen mittelst eines Quarzprismas, dessen optische Axe mit der Prismenaxe zusammenfiel, ein Doppelspectrum. Darin waren die beiden Spectren, die dasselbe zusammensetzten, so übereinander geschoben, dass das violette Ende des einen gerade vom rothen des andern gedeckt wurde. Wir hatten also zwei Spectren, eines von Roth bis Blau, das andere von Gelb bis Violet, und die Mitte zwischen beiden durch Purpur ausgefüllt. Der Raum, den das Doppelspectrum einnahm, konnte gerade von einer grossen Ochsenretina gedeckt werden, welche darin der Einwirkung des Lichtes 20 Min. lang ausgesetzt wurde. Als wir die Retina darauf am Tageslichte besahen, war sie am meisten ausgebleicht im Gelbgrün und Grün der beiden Spectren, gar nicht oder kaum im Roth des einen und im Violet des andern, während in dem durch Deckung des Roth und Violet erhaltenen Purpur deutlich ein Anfang der Ausbleichung zu bemerken war. Dieser Versuch ergab mithin ein Resultat, welches mit dem oben erhaltenen in vollkommenster Uebereinstimmung war.

War nun unsere Ansicht richtig, dass die Wirkung der Mischfarben auf den Sehpurpur sich einfach aus den Wirkungen der Einzelfarben zusammensetze, wie wir dies aus den Bleichungsversuchen in den verschiedenen Weiss und im Purpur schliessen konnten, so musste es auch gelingen, einzelne Farben durch Mischung herzustellen, die im Farbenton mit gewissen reinen Spectralfarben übereinstimmten, die sich aber wesentlich verschieden von diesen verhielten, wenn man sie auf ihre zersetzende Wirkung des Sehpurpurs prüfte. Es gelang uns zunächst ein

Digitized by Google

Gelbgrün darzustellen, welches etwa einer Stelle im Spectrum entsprach, die in der Mitte zwischen den beiden Linien D und E lag; wir erhielten es durch Mischung aus Roth mit einem ziemlich reinen Grün, welches zwischen der Linie E und dem Blaugrün lag, das wir verwenden mussten, um mit Roth Weiss zu erhalten. Wir hatten also eine Mischfarbe, welche dem Farbentone nach einer der stärkst wirkenden Spectralfarben entsprach, aber zusammengesetzt war aus dem kaum wirksamen Roth und einem Grün, welches schon schwächer wirkte, als das der Mischfarbe entsprechende spectrale Gelbgrün. Wir mussten deshalb erwarten, dass das gemischte Gelbgrün eine schwächere Wirkung ausüben würde, als das entsprechende spectrale Gelbgrün allein. Es wurden zwei Bleichungsversuche gemacht: einer mit dem gemischten Gelbgrün, genau so angestellt wie die früheren, durch partielle Deckung, und ein Parallelversuch mit dem entsprechenden Gelbgrün des Spectrums, das natürlich durch eine ebensolche Linse und ebenso wie die Mischfarben mit Hülfe eines kleinen rechtwinkeligen Prismas nach abwärts projicirt wurde und zwar auf die gleiche Ebene, in der die Bilder der Mischfarben aufgefangen wurden. Der besseren Vergleichung wegen seien die beiden Versuche hier direct nebeneinander gestellt:

	Versuch 10.	Versuch 11.
	Am 12. Juni um 11 Uhr 5 Min. wurden in einem aus Roth und Grün gemischten Gelbgrün 3 Retinae so exponirt, dass 1) im Roth, 2) im Gelbgrün und 3) im Grün lag.	Am 14. Juni wurde ein entsprechendes spectrales Gelbgrün dargestellt und darin um 11 Uhr 5 Min. eine Retina exponirt.
Nach 1 Min.	. . . . .	ist der Purpur schon in Brandroth übergegangen.
Nach 5 Min.	ist 1) noch unverändert roth und in 2) und 3) die Ausbleichung deutlich bemerkbar, bis dunkelchamois fortgeschritten.	

Digitized by Google

	Versuch 10.	Versuch 11.
Nach 6 Min.	. . . . .	ist die Retina schon bis gelblich chamois und
Nach 10 Min.	zeigte sich 1) noch ganz roth, 2) hellchamois u. 3) chamois gefärbt.	bis hellgelblich chamois ausgebleicht.
Nach 13 Min.	. . . . .	Die Retina ist nur noch sehr blass, sehr hellgelblich chamois gefärbt. (Sie ist soweit ausgeblichen wie 2 im Versuch 10 nach 20 Min.)
Nach 20 Min.	war 1) noch ganz roth, 2) und 3) bis sehr hellgelblich Chamois ausgeblichen, und zwar 2) noch etwas gelblicher als 3).	
Nach 30 Min.	endlich war 1) noch roth, während 2) und 3) vollständig ausgeblichen waren.	

Das Sonnenlicht schien in beiden Versuchen gleich intensiv.

Das entsprechende Resultat, aber in umgekehrter Richtung, erzielten wir durch Vergleichung eines gemischten Blau, das wir aus Grün, also einer stark wirkenden Farbe, und Violet erhielten, mit einem spectralen Blau, das den gleichen Farbenton und für unsere Empfindung auch etwa gleiche Helligkeit zeigte, das der Erfahrung nach aber, die wir über die Ausbleichungszeiten im Spectrum gewonnen hatten, weniger schnell, als das zur Combination verwendete Grün wirken musste. Die beiden entsprechenden Versuche fielen folgender Art aus:

Versuch 12.	Versuch 13.
Am 13. Juni wurden in dem aus Grün und Violet gemischten Blau um 11 Uhr 40 Min. 3 Netzhäute exponirt. 1) lag im Grün, 2) im Blau, 3) im Violet.	Um 10 Uhr 45 Min. am 14. Juni, wurde eine Retina in ein entsprechendes spectrales Blau gelegt.

Digitized by Google

	Versuch 12.	Versuch 13.
Nach 2 Min.	war in 1) und 2) schon Ausbleichung zu bemerken, die Farbe aber noch roth, 3) war noch unverändert.	
Nach 5 Min.	. . . . .	war der Beginn der Ausbleichung zu bemerken.
Nach 7 Min.	als 1) und 2) bis hellchamois ausgeblichen waren, zeigte sich 3) noch roth.	
Nach 10 Min.	. . . . .	war die Netzhaut dunkelchamois.
Nach 13 Min.	war 1) und 2) bis hellgelblich ausgeblichen, dagegen 3) noch roth gefärbt, wenn auch blasser als vorher.	
Nach 15 Min.	. . . . .	war die Ausbleichung bis chamois,
Nach 20 Min.	. . . . .	bis hell chamois,
Nach 25 Min.	. . . . .	bis hellröthlich-chamois fortgeschritten und in der Helligkeit etwa 2) bei Versuch 12 nach 13 Min. Exposition entsprechend.
Nach 30 Min.	. . . . .	war endlich die Retina sehr blass geworden, aber ein röthliches Chamois immer noch zu erkennen.

Wir konnten also durch Combination zweier Farben einerseits Gelbgrün erhalten, welches schwächer als ein entsprechendes spectrales Gelbgrün wirkte, und konnten andererseits ein Blau mischen, durch welches wir stärkere Ausbleichung, als durch einen der Farbe nach entsprechenden Ausschnitt des Spectrums, hervorbringen konnten. Wir fanden darin eine neue Bestätigung

Digitized by Google

unserer Ansicht, dass die Wirkung einer gemischten Farbe auf den Sehpurpur nur abhängig ist von der Summe der Wirkungen der Spectralfarben, welche sie zusammensetzen.

In Folge dieser letzten Versuche mussten wir erwarten, auch gewisse Differenzen der Ausbleichung zu finden, wenn wir einmal das ganze zu Weiss vereinigte Spectrum, und dann das vereinigte Spectrum, aus dem gewisse Theile abgeblendet wurden, auf Froschretinae einwirken liessen. Wir führten zu dem Ende die folgende Versuchsreihe aus:

Versuch 14. Wir entwarfen ein kleines Spectrum durch ein weit vom Spalt aufgestelltes Prisma und eine dahinter befindliche Linse, zwischen welchen sich ein grosses Diaphragma von oblonger Gestalt befand, ähnlich wie wir es bei der Versuchsanordnung pag. 152 u. 153 gemacht hatten. Das so erhaltene kleine Spectrum vereinigten wir durch eine grosse Linse von kurzer Brennweite, so dass wir ein sehr scharfes, blendend weisses, kleines Bild des Diaphragmas erhielten. Wir nahmen dann durch Vorsetzen von Pappstreifen nach einander verschiedene Farben aus dem Spectrum weg, vereinigten den Rest desselben und erhielten so ein Vereinigungsbild, das in der komplementären Farbe des fehlenden Abschnittes, freilich mit viel Weiss gemischt, erschien. Wir exponirten je eine Retina, 1) im weissen Bilde, durch Vereinigung des ganzen Spectrums, eine 2te im vereinigten Spectrum ohne Roth, also in einem bläulichgrünen Weiss, eine 3te in einem ohne Grün, also in weisslichem Purpur, und eine 4te in dem zu einem weisslichen Gelb vereinigten Spectrum, aus dem das Blau abgeblendet war. Es wurde jede Retina 2 Min. exponirt und wir erhielten Nr. 1), 2) und 4) ziemlich gleich gefärbt, in mässig hellem Chamois, jedoch 1) etwas heller als 2) und 4); die 3te Retina, die in dem Bilde lag, bei dem die stärkst wirkenden, die grünen Strahlen fehlten, war deutlich weniger ausgeblichen, als 1), 2) und 4). Es war dies mithin ganz das Resultat, welches wir unsern Voraussetzungen nach erwarteten.

Digitized by Google

Die stärkere Einwirkung der Mischfarbe, als der Componenten, wie sie aus den seither beschriebenen Versuchen hervorgeht, ist leicht zu verstehen, da wir es einmal gewissermaassen mit einer Verdoppelung der Intensität zu thun hatten, andererseits aber auch deshalb eine verstärkte Wirkung erreichen mussten, weil ja, wie wir schon oben mehrfach hervorgehoben haben, gewisse Farben schneller auf Sehpurpur wirken, als auf Sehgelb, andere dagegen umgekehrt. Wenn demnach zwei solcher Farben zusammenwirkten, so musste schon durch dieses Moment allein eine stärkere Wirkung der Mischfarbe resultiren. Um nun die Summirung der Intensitäten auszuschliessen, construirten wir einen Apparat, der es erlaubte, die beiden Farben des Spectrums in der Art wirken zu lassen, wie dies bei dem Farbenkreisel geschieht, indem wir die beiden Farben nicht zu gleicher Zeit, sondern in schnellem Wechsel hintereinander auf die zu bleichenden Retinae auffallen liessen. Wir wählten dazu die Aufstellung der Apparate, wie wir sie angewandt hatten, um die verschiedenen Combinationen des Weiss herzustellen, liessen jedoch die beiden Farbenbilder durch die kleinen rechtwinkeligen Prismen so nach abwärts reflectiren, dass die Deckung derselben nicht wie dort, in der Art der Fig. 2, sondern wie Fig. 1, pag. 153, zu Stande kam. Ferner construirten wir eine kreisförmige, schwarze Pappscheibe, die an ihrer Peripherie mit Zähnen versehen war, und befestigten dieselbe an einem Uhrwerk, wie es benutzt wird, um Farbenscheiben in rasche Rotation zu versetzen. Das Uhrwerk mit der Zahnscheibe wurde so aufgestellt, dass die Axe der Scheibe vertikal stand und die Scheibe direkt unter die kleinen Prismen zu liegen kam, und zwar so, dass ihr gezahnter Rand gerade die Hälfte der nach unten gekehrten Flächen der Prismen bedeckte. Es war mithin die eine Hälfte eines jeden Farbenbildes durch den Rand der Zahnscheibe bedeckt, während die andere Hälfte frei nach unten reflectirt wurde. Die Breite der Zähne wurde genau so gewählt,

Digitized by Google

dass gerade die eine Farbe verdeckt wurde, während die andere frei blieb und umgekehrt, so dass in einem bestimmten Momente immer nur eine Farbe abwärts die Fläche beleuchtete. Wir hatten daher auf Fig. 1 (pag. 153) bezogen, für die obere Hälfte die Versuchsanordnung wie früher, eine einfache Summirung der Farben, während für die untere Hälfte, über welcher die Zahnscheibe lief, die Verhältnisse des Farbenkreisels vorlagen, indem nämlich die Farben nicht zu gleicher Zeit zusammen, sondern in schneller Folge hinter einander, einzeln, zur Wirkung kamen.

Versuch 15. In dieser Versuchsanordnung stellten wir zunächst wieder ein Weiss dar, welches aus Violet und Gelbgrün zusammengesetzt war, und präparirten 4 Froschnetzhäute, welche auf die sich partiell deckenden Farbenbilder so vertheilt wurden, dass 1) und 2) in den Abschnitt zu liegen kamen, welcher nicht von der Zahnscheibe beschattet wurde, und zwar so, dass 1) im Weiss und 2) im Gelbgrün lagen. 3) und 4) exponirten wir in dem Theile, über welchem sich die Zahnscheibe in schneller Rotation befand. Es lag 3) im Weiss und 4) im Gelbgrün. Nachdem das Licht 8 Min. eingewirkt hatte, wurde 1) und 2) mit einem dunkeln Deckel bedeckt und 3) und 4) allein noch 8 Min. weiter exponirt; dann wurden die Retinae bei gedämpftem Tageslichte besehen. 1), 3), 2), 4) waren in abnehmender Reihe ausgeblichen, zwischen 1) und 3) und zwischen 2) und 4) jedoch kaum Unterschiede zu bemerken. Am meisten Sehgelb enthielten 4) und 2) und zwar 4) etwas mehr als 2), während 1) und 3) davon noch am wenigsten zeigten. Es war in den letzteren das vom Gelbgrün gebildete Sehgelb durch das Violet immer schnell in Schweiss verwandelt worden, und da wir dies auch bei 3) sahen, so müssen wir schliessen, dass die schnellere Ausbleichung in den Mischfarben nicht allein durch Summirung der Intensitäten bedingt wird, die wir ja bei 3) ausgeschlossen hatten, sondern ganz wesentlich abhängt von der verschiedenen Wirkung,

Digitized by Google

welche die einzelnen Farben auf die 2 Bleichungsobjecte Sehpurpur und Sehgelb ausüben.

Ein anderer Versuch wurde in gleicher Weise mit einem Weiss angestellt, welches aus Roth und Blaugrün gemischt war.

Versuch 16. Um 10 Uhr 58 Min. wurden 6 Retinae exponirt und so vertheilt, dass 1), 2), 3) im direct reflectirten Theile und 4), 5), 6) in demjenigen lagen, der von der rotirenden Zahnscheibe beschattet war. 1) und 4) lagen im Roth, 2) und 5) im Weiss und 3) und 6) im Blaugrün.

Um 11 Uhr 4 Min. sind	2), 3), 5), 6) dunkel chamois und gleich gefärbt,
	1) und 4) kaum verändert.
Um 11 Uhr 12 Min. waren	2) und 3) chamois und
	5) und 6) ebenfalls chamois, aber etwas dunkler als 2) und 3),
	1) und 4) dagegen noch roth.
Um 11 Uhr 20 Min. zeigten sich	2) und 3) hell chamois, aber gleich gefärbt und
	5) und 6) auch hell chamois, untereinander gleich, aber etwas dunkler als 2) und 3).
	1) und 4) waren noch deutlich roth, wenn auch etwas heller als vorher.
Um 11 Uhr 30 Min. waren	2) und 3) bis zu einem sehr hellen Chamois ausgeblichen, und gleich an Farbe.
	5) und 6) zeigten bei gleicher Färbung auch nur noch ein hellstes Chamois, das aber etwas dunkler war als 2) und 3).

Digitized by Google

1) und 4) waren immer noch sehr schön roth, wenn auch heller als im Anfange des Versuchs.

Da wir hier bei 1) und 4) im Roth kaum eine Veränderung, bei 2) und 3) und bei 5) und 6) je gleiche Wirkung, aber in 5) und 6) etwas schwächere als in 2) und 3) beobachteten, so könnte man meinen, dass durch diesen Versuch eher das Gegentheil als im Vorhergehenden bewiesen sei, da ja kein Unterschied zwischen 5) und 6) gefunden wurde. Aber wir haben es hier nicht mit zwei Farben zu thun, die wie Grüngelb und Violet so verschiedene Wirkung auf Sehpurpur und Sehgelb zeigen, sondern wir verwendeten nur eine Farbe, das Blaugrün, welches schnell Sehpurpur in Sehgelb verwandelt, combinirt mit dem äussersten Roth, das auf den Sehpurpur überhaupt kaum wirkt und auch auf Sehgelb keine erhebliche Wirkung ausübt.

Im Gegensatze zu der verbreiteten Ansicht, dass das durch Combination aus 2 Complementären gebildete Weiss dunkler erscheine als die Componenten, müssen wir nochmals (vergl. S. 153) hervorheben, dass nicht allein das auf die verschiedenste Weise aus zwei Spectralfarben direkt gemischte, sondern auch das unter der rotirenden Zahnscheibe entstandene, objectiv nicht intensivere Weiss uns entschieden immer heller vorkam, als die beiden Componenten. Es wurde dies vielfach von uns bemerkt und von einer ganzen Anzahl andrer, vollständig unbefangener Beobachter soweit bestätigt, als überhaupt von einer Abschätzung derartig verschiedener Empfindungen die Rede sein konnte.

Wir haben bei den seither beschriebenen Versuchen vielfach darauf aufmerksam gemacht, dass, abgesehen von der zeitlich verschiedenen bleichenden Wirkung, noch andere Unterschiede die Wirkung der einzelnen Farben auszeichnen, dass nämlich die mittleren Theile des Spectrums schneller eine Umwandlung des

Digitized by Google

Sehpurpurs in Sehgelb zu Stande bringen, ihre Wirkung auf Sehgelb dagegen viel schwächer ist als diejenige des blauen und violetten Endes, welche letzteren Farben umgekehrt den Sehpurpur langsamer angreifen, aber einmal gebildetes Sehgelb dann leicht in Sehweiss verwandeln.

Werfen wir zum Belege dieser Ansicht noch einmal einen Blick auf einige der bis jetzt beschriebenen Versuche, so finden wir am Ende von Versuch **2** die Ausbleichung im Orange bis röthlich chamois, in der Mitte des Spectrums, also im Gelbgrün, Grün und Blaugrün bis zu hellgelb fortgeschritten, und am violetten Ende die Retinae bis zu einem hell röthlichen Chamois und hellen Rosa ausgeblichen. In Versuch **3** ist die Retinafarbe gegen Ende der Exposition, im Gelbgrün bis hell gelblich, im Blaugrün bis hell chamois, im Blau bis hell röthlich chamois und im Blauviolet bis hell röthlich verändert und bei Versuch **4** ist im Grüngelb Ausbleichung bis hell chamois beobachtet zu einer Zeit als im Violet die Retina noch röthlich chamois befunden wurde. Die Parallelversuche **12** und **13** endlich ergaben, dass bei Versuch **12** im Grün die Ausbleichung bis hell gelblich gekommen ist, während bei **13** im Blau noch ein hell röthliches Chamois erhalten bleibt. Auf dieselben Verhältnisse wurde in Versuch **15** schon direct hingewiesen, und es lag nahe, die dort zur Anwendung gekommene Methode, dass man verschiedene Farben hinter einander auf die Netzhaut einwirken liess, in einfacherer Weise auch für unsere Frage zu verwerthen. Wir stellten desshalb eine Reihe von Versuchen in der Art an, dass wir die Netzhäute erst eine Zeit lang einer bestimmten Farbe des Spectrums exponirten, um dann die Ausbleichung in einer anderen weiter zu führen.

Nachdem uns verschiedene dahin gehende Versuche, die bei Gelegenheit anderer angestellt waren, keine befriedigenden Resultate gegeben hatten, kamen wir später durch folgende Versuchsanordnung zum Ziele.

Digitized by Google

Wir entwarfen in der schon mehrfach erwähnten Weise ein kleines Spectrum auf einem Holzschirm nnd befestigten darauf mit Reissnägeln einen Milchglasstreifen so, dass dessen oberer Rand gerade das Spectrum halbirte. Auf diesen Streifen wurden diejenigen Netzhäute gelegt, die zur Controle während der ganzen Dauer des Versuchs in der gleichen Farbe exponirt bleiben sollten, während wir die Retinae, welche wir während des Versuchs in andere Farben überführen wollten, an die unteren Ränder kleiner Milchglasplättchen klebten. Diese waren mit Klemmpincetten so am Holzschirm befestigt, dass die auf ihnen befindlichen Netzhäute, genau über denjenigen auf dem Milchglasstreifen, in der oberen Hälfte des Spectrums exponirt werden konnten.

Versuch 17. Wir legten von 4 Netzhäuten 1) und 2) übereinander so in Rothorange bis Grüngelb, dass dieselben gerade von D halbirt wurden, und 3) und 4) in Blauviolet in die Gegend der Linie G. 2) und 4) lagen am oberen Rande des Milchglasstreifens, 1) und 2) auf den beweglichen kleinen Plättchen. Um 10 Uhr 35 Min. begann die Exposition, und um 10 Uhr 39 Min. wurde Nr. 1) mit Nr. 3) getauscht, dann nochmals exponirt und um 10 Uhr 44 Min. am Tageslichte besehen. Im Grade der Ausbleichung waren keine grossen Unterschiede zu bemerken, dagegen deutliche Farbenunterschiede erkennbar. Es war

$^1/_2 2$ röthlich chamois,
$2^1/_2$ gelb chamois,
$^1/_2 4$ gelblich chamois,
$4^1/_2$ röthlich chamois gefärbt.

Die gewechselten $^1/_2 3$ und $3^1/_2$ zeigten ein gelbes Chamois und $^1/_2 1$ und $1^1/_2$ ein gelbliches Chamois, mit etwas mehr roth darin, als $^1/_2 3$ und $3^1/_2$.

Versuch 18 wurde gerade so angestellt, wie der vorige, nur kamen 1) und 2) in Rothorange bis Grüngelb, von D halbirt, 3) und 4) in Blau zwischen F und G. Um 11 Uhr 6 Min.

Digitized by Google

wurde exponirt bis 11 Uhr 11 Min., dann 1) und 3) gewechselt und um 11 Uhr 13 Min. wieder exponirt bis 11 Uhr 18 Min. Darauf bei gedämpftem Tageslichte besehen, zeigte sich:

$^1/_2 2$ röthlich chamois,
$2^1/_2$ gelblich chamois,
$^1/_2 4$ gelblich chamois,
$4^1/_2$ röthlich chamois, während

die gewechselten: $^1/_2 3$ gelblich chamois,
$3^1/_2$ röthlich chamois, heller als $4^1/_2$ und
$^1/_2 1$ und $1^1/_2$ chamois gefärbt waren.

Es wurde nochmals exponirt bis 11 Uhr 27 Min.; die Retinafarben waren:

$^1/_2 2$ hellrosa,
$2^1/_2$ hellgelb,
$^1/_2 4$ hellstes Chamois,
$4^1/_2$ hell Chamois,
$^1/_2 3$ hell gelblich chamois,
$3^1/_2$ fast ganz weiss,
$^1/_2 1$ fast ganz weiss, sehr hell chamois und
$1^1/_2$ hell chamois.

Versuch 19. Die Anordnung war wie vorher. 1) und 2) lagen im Gelb bis Gelbgrün von D an, 3) und 4) im Blau.

Um 12 Uhr 3 Min. begann die Exposition.
Um 12 Uhr 10 Min. zeigten

1) und 2) ein sehr hellgelbliches Chamois und
3) und 4) ein sehr hell röthliches Chamois.

Es wurden nun 1) und 3) gewechselt und um 12 Uhr 12 Min. wieder exponirt. Um 12 Uhr 17 Min., bei Tageslicht besehen, zeigte:

3) hellstes röthliches Chamois,
2) enthielt noch am meisten Gelb;

Digitized by Google

1) war bis zum hellsten röthlichen Chamois ausgebleicht und
4) zeigte ein sehr helles röthliches Chamois.

Zwischen 1) und 3) war kein Unterschied zu bemerken; 4) war etwas dunkler als 1) und 3).

Aus dieser Reihe von Versuchen scheint uns auf's Deutlichste hervorzugehen, dass die Retina schneller ausgebleicht werden kann, wenn hintereinander 2 verschiedene Farben einwirken, selbst schneller als in den Theilen des Spectrums, die erfahrungsgemäss die kräftigste Wirkung auf die Retinafarbe ausüben. Es trat diese schnellere Wirkung hauptsächlich dann auf, wenn die Retina erst aus mittleren Spectralabschnitten in den violetten Theil übergeführt wurde. Wir erklären diese Thatsachen, in Uebereinstimmung mit früher gemachten Beobachtungen, daraus, dass die grüngelben bis blaugrünen Strahlen schnell aus Purpur die Bleichungsstufe Sehgelb hervorbringen, auf dieses aber eine viel schwächere Wirkung haben als das Violet.

Noch eine andere Versuchsreihe wurde unternommen, um diese Frage zur Entscheidung zu bringen. Es musste die Einwirkung auf das Sehgelb um so klarer hervortreten, je reiner von Purpur dasselbe in der Retina enthalten war. Wir unterwarfen desshalb die Netzhäute der Einwirkung der Spectralfarben erst, nachdem durch Anbleichen im Sonnenlicht schon ein Theil ihres Purpurs in Sehgelb verwandelt war.

Versuch 20. Um 10 Uhr 50 Min. wurden 3 Retinae von Dunkelfröschen im Sonnenlicht bis zur Chamoisfarbe ausgebleicht und um 10 Uhr 57 Min. in einem kleinen Spectrum so exponirt, dass

1) im Gelbgrün bis Grün,
2) im Blau,
3) im Blauviolet bis Violet lag.

Um 11 Uhr 5 Min. waren 1) und 2) gelb, mit einem Stich

Digitized by Google

in's Chamois und 3) röthlich, etwas nach Chamois spielend.

Es enthielten also 1) und 2) neben Sehgelb noch Spuren von Purpur, und 3) neben Purpur noch Spuren von Sehgelb. Um die relativen Mengen vom Sehgelb direct vergleichen zu können, wurden die 3 Retinae so lange in die Sonne gehalten, bis kein Chamois mehr, sondern nur noch Gelb vorhanden war. Es enthielt dann 1) noch am meisten Gelb, während 3) fast gar Nichts davon zeigte, fast vollkommen weiss war.

Versuch 21. In gleicher Weise wurden drei Retinae in der Sonne bis zu einem gelben Chamois ausgebleicht und um 12 Uhr 6 Min. im kleinen Spectrum exponirt:

1) wurde in Gelbgrün,
2) in Blaugrün und
3) in Violet gelegt.

Nach 10 Min. war 1) gelb,
2) hell chamois und
3) noch röthlich gefärbt.

Darunter war in 2) die Ausbleichung am weitesten und in 1) etwas weiter als in 3) vorgeschritten. Es hat also das Blaugrün, welches sonst auf frische, noch purpurfarbene Retinae schwächer bleichend wirkt, als das Gelbgrün, hier, wo es sich wesentlich um die Umwandlung von Sehgelb in Sehweiss handelte, schneller gewirkt, als Gelbgrün. Ferner tritt bei diesem Versuche sehr deutlich die Differenz der Wirkung zwischen Gelbgrün und Violet hervor; während Gelbgrün aus dem Chamois den Purpur wegnahm und nur Sehgelb übrig blieb, nahm das Violet das Gelb weg, so dass nur noch eine röthliche Färbung der Netzhaut übrig blieb.

Versuch 22. Es werden 4 Netzhäute im Sonnenlichte bis zu einem hellen Chamois ausgebleicht, dann um 11 Uhr 21 Min.

Digitized by Google

1) in Roth,
2) in Gelbgrün — Grün gelegt, so dass die Linie E gerade die Retina halbirte;
3) wurde im Blau, in der Mitte zwischen F und G und
4) im Violet exponirt.

Um 11 Uhr 31 Min. ist 1) hell chamois,
2) hell gelblich,
3) sehr hell chamois, fast weiss und am meisten ausgebleicht, und
4) hellröthlich chamois gefärbt.

Das Roth hatte also gar nicht gewirkt, Grün den Purpur weggenommen, Blau hatte auf beide, auf Purpur und stark auf Sehgelb gewirkt, so dass die Retina darin am meisten verändert war, und Violet hatte das vorhandene Sehgelb zum grössten Theile in Sehweiss verwandelt, auf den Purpur aber wenig gewirkt, so dass darin ein helles röthliches Chamois übrig blieb.

Die 4 Netzhäute wurden nochmals an die gleichen Stellen im Spectrum zurückgebracht und erschienen um 11 Uhr 36 Min. am Tageslicht besehen:

1/2 1) sehr hell chamois,
1 1/2) sehr hell chamois, etwas mehr gelblich,
2) sehr hellgelblich weiss,
3) weiss mit einem Stich in Chamois, aber fast vollkommen ausgeblichen,
1/2 4) sehr hell chamois und
4 1/2) sehr hell röthlich chamois.

Alle Netzhäute wurden nun am Sonnenlichte weiter ausgebleicht, bis nur noch Sehgelb vorhanden war. Sie zeigten sämmtlich sehr wenig davon, aber 1) und 2) enthielten noch am meisten, 3) und 4) am wenigsten.

Wir glauben, dass die von uns vertretene Ansicht über die

Digitized by Google

Ausbleichung von Sehpurpur und Sehgelb im monochromatischen Lichte, nachdem wir wenigstens im sichtbaren Theile des Spectrums, durch auf die verschiedenste Weise angestellte Versuche immer zu gleichen Ergebnissen gelangten, nunmehr gesichert ist.

Im Ultraviolet sahen wir entsprechend den früheren Angaben (vergl. Heft 1. S. 59) des Einen von uns einige Wirkung, welche die Zersetzung des Purpurs zwar constatiren, aber als ausserordentlich schwach erkennen liess. Im Ganzen haben wir den Eindruck gewonnen, als ob das Licht in der Gegend und jenseits von H dem vom A im äussersten Roth etwas überlegen sei, besonders dann, wenn vorher weisses Licht Sehgelb erzeugt hatte; indessen ist es schwer, über so minimale Wirkungen und aus solchen nach Stunden zu bemessenden Ausbleichungszeiten präcisere Folgerungen zu ziehen, schon weil das Ueberviolet niemals vollkommen rein ist, und an fremdem Lichte besonders solches enthält, das Sehpurpur zersetzt. Hat man es wirklich dahin gebracht, dass das Roth vernachlässigt werden kann, so ist damit noch nicht viel geholfen, weil immer noch wirksameres Licht mittlerer Wellenlänge in dem der grössten Brechbarkeit vorhanden bleibt. Wir müssen darum vorzugsweise, wenn nicht ausschliesslich, Gewicht auf die Thatsache legen, dass eben ein zweifelloses Ablassen nach etwa einstündiger übervioletter Belichtung zu sehen ist im Vergleiche zu Netzhäuten, die unter denselben Umständen, also auch in dem nämlichen, niemals völlig zu tilgenden diffusen Lichte sich befanden, das die Umgebung des Spectrums trifft. Um die Vergleichung mit den im Roth zwischen A und B gehaltenen Netzhäuten durchzuführen, haben wir uns des nur einmal durch den Quarzapparat gebrochenen Lichtes bedient, das bei enger Spalte ein prächtiges, weit ausgedehntes, überviolettes Ende auf Aesculin zeigte und selbst darin ohne weitere Vereinigung durch eine zweite Quarzlinse etwas vor der Gruppe H, grössere Veränderlichkeit der Netzhautfarbe, als im Roth ge-

Digitized by Google

funden. Eine bis zwei Stunden genügen reichlich dies festzustellen, wenn die Luft recht durchsichtig ist, aber wir haben es in keiner dieser beiden Farben zur vollkommenen Ausbleichung bringen können, im Ueberviolet jedoch nahezu, wenn die Netzhaut durch weisse Belichtung vorher chamois oder gelb geworden war.

Die vorstehenden Erfahrungen hatten wir an den frischen Netzhäuten selbst gesammelt, da die Darstellung des Purpurs in Lösung für diese Versuche zu zeitraubend und zu kostbar gewesen wäre; wir haben jedoch nicht unterlassen, schliesslich noch einige Ausbleichungsversuche mit der klaren Lösung des Sehpurpurs im Sonnenspectrum auszuführen, von denen wir einen genauer mittheilen. Die Methode bestand in der früher angeführten Vertheilung getrennter Tropfen auf einer Glasplatte über weisser Unterlage, auf der das Spectrum scharf zu erkennen war, und zeitweiser Betrachtung der Tropfenreihe bei sehr gedämpftem Tageslichte.

Den 1. Mai 11 Uhr 40 Min. wurden in dem kleinen sehr intensiven Spectrum vertheilt:

Tropfen 1 im Ultraroth.
„ 2 „ Roth.
„ 3 „ Gelbgrün und Grün von D an.
„ 4 von E nach b.
„ 5 im Blau, bei F beginnend,
„ 6 „ Indig.
„ 7 „ Violet, bei G beginnend,
„ 8 „ Violet,
„ 9 „ Ueberviolet, von H an.

Die Lösung war so concentrirt, dass die Absorption schon im gelblichen Orange und im Violet kenntlich war. Nach 1 Min. fanden sich 3) und 4) bedeutend gebleicht, 3) am meisten und die Absorption dort schon äusserst geschwächt; nach 6 Min. 7) bemerkbar heller; nach 14 Min. 8) ebenso; nach 4 Min.

Digitized by Google

waren 3) und 4) völlig gebleicht, 5) und 6) im Beginne des Ablassens, nach 19 Min. alle genannten Tropfen vollkommen farblos, 1), 2) und 9) kaum verändert, nach 30 Min. 1) und 2) blassroth, 9) hell lila. Im Vergleiche zu den Erscheinungen an der Retina verlief hier Alles überaus rasch, besonders der Uebergang aus den Mischfarben von Sehpurpur und Sehgelb (rein roth und chamois) zur völligen Farblosigkeit, in welcher letzteren Beziehung die Retina nach unsern noch ausführlicher mitzutheilenden Erfahrungen überhaupt eine gewisse Trägheit und Inconstanzen zeigt. Die Ursache dieses Verhaltens wird später erörtert werden.

Es blieb schliesslich noch übrig zu constatiren, dass auch der Purpur in der lebenden, noch im Thiere befindlichen Netzhaut in gleicher Weise durch die spectralen Farben ausgebleicht werde, wie wir dies an der exstirpirten Netzhaut und an der Purpurlösung gefunden hatten. Die Versuche wurden so angestellt, dass ein Spectrum auf einen Schirm auffiel, in dem sich ein Spalt befand, durch den man die gewünschte Farbe auf eine Linse von kurzer Brennweite auffallen lassen konnte. Hinter dem Brennpunkte dieser Linse wurde das Auge eines curarisirten Frosches so aufgestellt, dass das kleine, sehr lichtstarke Strahlenbündel so in das Auge eindrang, dass es wo möglich im Auge parallel oder divergent nach der Retina zu gebrochen wurde. Es wurden auf diese Weise Versuche mit Grüngelb, Gelbgrün, Blaugrün und Blau gemacht, und es zeigte sich, dass bei allen vollkommene Ausbleichung des Sehpurpurs erzielt werden konnte, am leichtesten und schnellsten in Gelbgrün und Grüngelb (in $^1/_2$ bis 1 Stunde), am langsamsten (in $1^1/_2$ Stunde) im Blau.

Wir haben also *intra vitam* die gleichen relativen Bleichungsverhältnisse constatiren können, wie in den herausgenommenen Netzhäuten oder am gelösten Purpur und sind daher weit entfernt, andere Differenzen über die Wirkung des verschiedenfarbigen Lichtes auf den Stäbchenpurpur anzunehmen, als die vorstehend

Digitized by Google

erörterten, die sich kurz dahin zusammenfassen lassen, dass 1) alles sichtbare Licht den Sehpurpur zersetzt, aber bei gleicher Intensität in sehr verschiedener, **der Absorption des monochromatischen Lichtes proportionaler Zeit** — und dass 2) die Wellenlängen, welche den Purpur am schnellsten in Sehgelb verwandeln, am langsamsten auf dieses, die das Sehgelb am leichtesten zu Sehweiss zersetzenden und vom Sehgelb vorwiegend absorbirten im Allgemeinen weniger auf den Sehpurpur wirken.

Fortsetzung folgt im nächsten Heft.

Digitized by Google

Kurze Anleitung zur Verwendung der Verdauung in der Gewebsanalyse.

Von **W. Kühne.**

Seit einiger Zeit werden so häufig Anfragen an mich über die Ausführung der Verdauung zu mikroskopischen Zwecken gerichtet, dass ich etwas Nützliches zu thun glaube, wenn ich durch eine kurze Anleitung die Verdauung als histologische Methode allgemeiner einzuführen versuche.

So lange man die Bereitung und Wirkung des künstlichen Magensaftes kennt, sind durch Verdauung macerirte Objecte häufig mikroskopisch untersucht. Als Methode dürfte die Pepsinverdauung zuerst auf Brücke's Veranlassung von Andrejevicz verwendet sein, der damit die Frage nach Umhüllungsmembranen an den feinsten Gallengängen zu entscheiden suchte. Später ist in Ludwig's Laboratorium vom Magensafte zur Auflockerung des Bindegewebes und zur Darstellung elastischer Faserzüge Gebrauch gemacht. Wie man dabei verfährt, ist so allgemein bekannt, dass ich wenig hinzuzufügen finde. Es kommt da vornehmlich auf zeitliche Unterschiede an, meist darauf, in welcher Reihefolge die Gewebe gelockert und gelöst werden und so können unterschieden werden: weichere und derbere Eiweissmassen, festes und lockeres Bindegewebe, elastische Substanz und Verhorntes. Am Ende einer wirksamen Maceration bleibt bekanntlich nur das letztere übrig nebst dem Nucleïn der Kerne, dessen Isolation

Digitized by Google

durch Verdauung wir Miescher verdanken. Hinsichtlich der Resistenz des Keratins zeigen neuere Erfahrungen von Dr. Morochowetz, dass es jedoch verhornte Gewebe, namentlich der Oberhaut gibt, welche sehr kräftigen Pepsinsäuren erliegen, besonders nach vorausgegangenem Kochen mit Wasser. Wir verwenden bei zarteren Objecten statt der Salzsäure im hiesigen Laboratorium Oxalsäure von 0,3 pCt., welche auf je 100 Cub. Cent. mit 1 Cub. Cent. besten Pepsinglycerins versetzt wird.

Die Verdauung geschieht entweder im Probirröhrchen oder auf Objectträgern. Erstere sind 1,8 Ctm. weit und 5 Ctm. hoch und werden in einen flachen Blechtopf, dessen Deckel zu ihrer Aufnahme geeignete Löcher hat, so gesteckt, dass sie den Boden des Wasserbades nicht berühren. Hat man wenig Flüssigkeit auf sehr kleine Präparate gethan, so wird das Röhrchen passend geschützt und zur Verhütung des Schwimmens beschwert durch ein dickes Glasplättchen, oder durch einen keulenförmigen Glasstab, auf dessen herausragende Spitze man das Etiquet spiesst. Man rührt zweckmässiger mit diesem Stäbchen, als durch Schütteln um, weil manche Präparate sich gern an die Glaswände legen und sich daran emporziehen. Bei der Verdauung auf Objectträgern kommen diese in feuchte Kammern (Fig. 4) der nachstehenden Gestalt, deren man viele in ein grosses viereckiges Wasserbad setzen kann. Das letztere enthält einige Centimeter über dem Boden eine von vielen Löchern durchbohrte Blechplatte, auf welcher die feuchten Kammern stehen. Das Wasser muss so hoch aufgefüllt werden, dass die Kammern gerade nicht schwimmen können und diese müssen so viel Wasser enthalten, dass das Niveau den Objectträger fast berührt. Ist dies der Fall, so kann das Object unbedeckt bleiben, ohne dass man fortschreitende Concentration oder Eintrocknen zu befürchten hätte. Wo ein Deckglas benutzt wird, ist dasselbe zu stützen, zuweilen recht vortheilhaft nur auf einer Seite, so dass ein keilförmiger Raum das Präparat einschliesst. Bei sehr zarten Objecten, z. B. verdauten Retina-

Digitized by Google

schnitten ist es dann recht gut möglich, sie ohne Zerreissungen an den flachsten Theil des Keils zu bringen, wo sie starker Vergrösserung zugänglich sind. Der Blechkasten, welcher die feuchten Kammern einschliesst, wird mit einem dachartigen Deckel, von dem das verdunstete Wasser nicht in Tropfen abfallen kann, geschlossen.

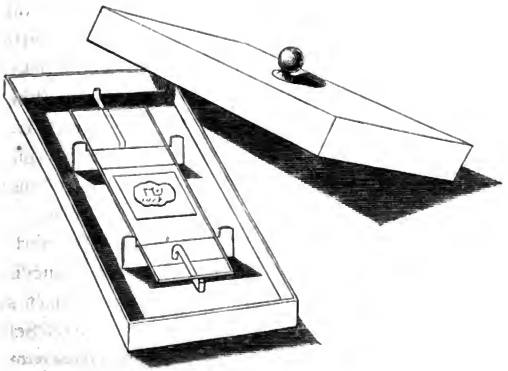


Fig. 4.

Zur Trypsinverdauung wird dieselbe Vorrichtung benutzt, aber man hat hier noch Sorgfalt auf eine Desinfection zu legen, zu welchem Zwecke das Wasser der Bäder mit Salicylsäure oder mit Thymol gesättigt wird. Um den Apparat für lange Zeit fäulnisswidrig zu erhalten, wende ich beide Präparate zusammen an, doch genügt für kürzere Zeit auch Thymol allein, und ich ziehe dieses vor, weil es das Metall nicht angreift, wie die Salicylsäure, die am Eisen bald Rostbildung befördert und als salicylsaures Eisen, wie es scheint, unwirksam wird, so dass man nachsäuern muss. Die rothe, trübe Lösung, welche sich dann bildet, fördert ausserdem die Reinlichkeit nicht.

Während die Pepsinverdauung nach energischer Wirkung nur Keratin und Nucleïn oder Mucin hinterlässt, hat die Tryp-

Digitized by Google

sinverdauung den Vortheil, dazu noch das Collagen zu conserviren und ausserdem die Quellungserscheinungen, welche im Magensafte die Säure erzeugt, zu vermeiden.

Für histologische Zwecke reines Trypsin zu nehmen, wäre Luxus; man benützt ein Extrakt aus dem Pankreas, das in folgender Weise bereitet wird. Rinderpankreas wird mit kaltem Alkohol und mit Aether im Extraktionsapparate so vollkommen erschöpft, dass es nach dem Abdunsten des Aethers eine weisse, leicht zerreibliche, trockne Masse liefert. Wünschenswerth wäre es, dieses Präparat, das man vorräthig haben muss, und das sich unbegrenzt hält, käuflich erhalten zu können. 1 Gew. Th. desselben wird mit 5—10 Gew. Th. Salicylsäure von 1 p. m. 3—4 Stunden bei 40° C. erhalten, durch ein leinenes Läppchen abgepresst, wobei das Bindegewebe des Pankreas in Gestalt eines bräunlichen, sehr elastischen Klumpens zurückbleibt und nach dem Abkühlen durch Papier filtrirt. Scheidet sich später Tyrosin aus, so kann dieses ebenso entfernt werden. Bei 5 Th. Säure ist die Verdauungslösung gut zur Erhaltung des Bindegewebes, während man bei 10 Th. schon Quellung und Auflösung collagener Fibrillen befürchten muss, denn es kommt dabei weniger auf die procentische Menge der Salicylsäure, als auf die absolute gegenüber dem Gehalte der Lösung an anderen Stoffen an, so dass z. B. selbst 2 pr. m. der Säure verwendbar sind, wenn die Verdauungslösung im Uebrigen entsprechend concentrirter ist. Man thut immer gut, sich von der Wirksamkeit der einmal bereiteten Trypsinmischung zu überzeugen; sie muss eine vorher erwärmte Fibrinflocke in weniger, als in einer Minute zum Zerfallen bringen und dieselbe in 5 Min. zu einem dünnen Brei auflösen.

Pankreatische Verdauungsflüssigkeiten sind bekanntlich auch mittelst der *v. Wittich*'schen Glycerinextrakte oder aus den Alkoholfällungen dieser herzustellen. Abgesehen davon, dass die Herstellung dieser Präparate, wenn sie gut sein sollen, die

Digitized by Google

gleiche Vorbereitung des Trockenpankreas erfordert, und dass die Umständlichkeit somit nur zunimmt, haben die verdünnten Glycerinlösungen und die wässrigen Auflösungen des Rohenzyms noch den Nachtheil von der Salicylsäure gefällt zu werden, so dass die Methode des Ausdauens auch hier unvermeidlich wird. Ich meine deshalb das vorerwähnte Verfahren ausschliesslich empfehlen zu müssen.

Die zu verdauenden histologischen Objecte können zuvor mit Alkohol, mit Chromsäure, mit *Müller*'scher Flüssigkeit, selbst mit Pikrinsäure behandelt werden; am besten eignen sich jedoch frische oder mit Alkohol gehärtete Präparate. Gekochte hinterlassen wohl Keratin, aber kein Collagen, ebenso einmal gesäuerte und wieder mit Wasser oder durch Neutralisation abgequellte. An Chromsäurepräparaten wird das Bindegewebe, wenn es belichtet worden und besonders wenn es im Lichte ausgewaschen wurde, ganz unlöslich, da es dann für Säuren aufhört, quellbar zu sein. Nahezu gesättigte Salzlösungen, in welchen es zuweilen wünschenswerth ist, die Verdauung vorzunehmen, hindern den Process nicht; man setzt dann die Trypsinmischung, nach vorgängigem Eindunsten bei 40° C. zu der Salzlösung.

Obwohl das Trypsin mit Salicylsäure recht gut wirkt, wird in manchen Fällen die neutrale oder alkalische Lösung anzuwenden sein; eine solche ist immer erst aus der sauren darzustellen. Bei 0,3 pCt. Gehalt an trockner Soda scheint die Verdauung am energischsten zu verlaufen, doch verliert man dabei auch die Kerne, nicht weil das Nucleïn verdaut wird, sondern weil es in Lösung geht. Was dann noch zurückbleibt kann von Gewebsbildnern nur Collagen und Keratin sein, zwischen welchen die Entscheidung gleich zu treffen ist durch Ansäuern mit HCl von 1 p. m., im Nothfalle durch nachfolgende Pepsinwirkung. Bei der alkalischen Verdauung hat man besonders auf die Desinfection zu achten und ich empfehle dazu die Lösung mit soviel einer alkoholischen Thymollösung von 20 pCt. zu ver-

Digitized by Google

setzen, dass die Mischung 0,5 pCt. Thymol enthält. Ausscheidungen dieses Körpers schaden nicht und sind, wo es nöthig ist, mit Aether leicht zu entfernen.

Im Laufe der Beobachtungen scheiden sich häufig Tyrosinkrystalle aus, die man fortzuspülen hat, wenn sie stören. Handelt es sich um Keratinpräparate, aus welchen die Kerne gewöhnlich zu entfernen sind, so löst man das Tyrosin mit diesen in NH_3 oder in Alkalien auf.

Hinsichtlich der Conservirung der Präparate bedarf es nur der Bemerkung, dass dieselben möglichst sorgfältig mit Wasser auszuwaschen sind um nicht nachträglich zu faulen. Das Beste, was daran zu sehen ist, bieten sie im einfach feuchten Zustande dar, in welchem sie sich auch lange erhalten.

Ich zweifle kaum, dass die genannten Methoden überall Verwendung finden werden, wo man damit z. B. die Hornscheiden und die Hornspongiosa des Nervensystems oder das reticuläre Collagen einer Lymphdrüse einmal vollkommen isolirt und mit der überraschenden Deutlichkeit gesehen hat, welche diesen Objecten eigenthümlich ist, aber ich will nicht unterlassen hervorzuheben, dass es sich bei dem Verfahren weniger um die Herstellung eleganter Präparate im Sinne der mikroskopischen Anatomie, als um histologische Zwecke handelt, zunächst um eine methodische Gewebsanalyse, welche Aufschlüsse über die Anordnung chemischer Stoffe in den Organismen geben soll.

Digitized by Google

RADCLIFFE LIBRARY UNIVERSITY 21 JUL 82 OXFORD

Ueber die Darstellung von Optogrammen im Froschauge.

Von **W. Kühne.**

Um auf der Netzhaut des Frosches das Optogramm eines vor dem Auge befindlichen Objectes zu erhalten, habe ich (Heft 1, S. 72) ein eigenthümliches, von dem beim Kaninchenauge befolgten sehr verschiedenes Verfahren angegeben, das wegen dieser Abweichung besondere Begründung verdient.

Der mit Curare vergiftete, ohne Lungenathmung lebende Frosch scheint zwar zu solchen Versuchen das bequemste und geeignetste Thier zu sein, aber er bereitet der Optographie gewisse Schwierigkeiten, welche beim Auge des Säugethieres leichter umgangen werden. Ich will nicht davon reden, dass es mühsam und unsicher sein kann, die Froschnetzhaut fehlerfrei aus dem Auge hervorzubringen oder sie glatt auszubreiten, denn diese Schwierigkeiten werden durch Uebung bald überwunden oder sind für grössere Exemplare von Rana esculenta kaum vorhanden; eben so wenig will ich als Hinderniss das kleine, bald gelernte Kunststück nennen, Sklera und Uvea am Sehnerveneintritte so abzuschneiden, dass die Retina undurchbohrt und mit dem kurzen Opticusstumpfe behaftet bleibt, sondern ich möchte die Aufmerksamkeit darauf lenken, dass die Retina des lebenden Frosches viel längerer oder weit intensiverer Belichtung, als die des Säugethieres bedarf, um gebleicht zu werden, während unglücklicher

Digitized by Google

Weise intensiveres Licht gerade das Mittel ist, ein Optogramm unkenntlich zu machen und zu verderben. Ich hatte deshalb gute Gründe, beim Frosche als Object die wenig wirkende Gasflamme mit entsprechend langer, mehrstündiger Exposition zu empfehlen und ausserdem Objectgrösse und Entfernung so zu wählen, dass nur ein sehr kleines, mit dem Mikroskope zu untersuchendes Bild entstehen konnte.

Man kann in der That nur dann Optogramme auf der Froschnetzhaut erhalten, wenn entweder das Licht sehr schwach war, oder nach intensiverer Belichtung, wenn das Bild sehr klein ist. Dies erklärt sich aus einem eigenthümlichen, schon früher von mir bemerkten Verhalten des Pigmentepithels (vergl. Heft 1, S. 40 u. 101) zur Stäbchenschicht, indem die Retina um so reicher mit schwarzem Pigment und dem Epithel beladen aus dem Auge hervorkommt, je intensiver sie belichtet worden. Gegen diesen das Optogramm verbergenden Fehler ist das am Säugethierauge fast immer helfende Alaunverfahren fruchtlos; man bleibt also auf die Besichtigung der frischen Netzhaut angewiesen. Da die letztere sehr häufig am belichteten Auge glatt und fehlerfrei, nur in ihrer ganzen Ausdehnung vom Epithel bedeckt aus dem Auge hervorzuziehen ist, sollte man meinen, dass es möglich sein müsse, das Optogramm jetzt im gerade durchfallenden Lichte an den durch das schwarze Pigment nach hinten ragenden Stäbchen wahrzunehmen, allein es tritt hier sofort ein weiterer Missstand dem Erkennen des Bildes entgegen, indem nämlich der die Epithelzellen erfüllende Pigmentbrei nicht wie im Auge der Dunkelfrösche angeordnet, die hinteren Stäbchenenden frei und den Sehpurpur durchscheinen lässt, sondern dieselben in einer ausserordentlich grossen Anzahl jener Zellen mit einer dichten, fast continuirlich aussehenden, undurchsichtigen Lage bedeckt. Welches vielseitige Interesse diese merkwürdige Erscheinung an sich bietet, wird bei anderer Gelegenheit zu er-

Digitized by Google

örtern sein; für die Optographie bildet sie ein Hinderniss, und das Epithel durch Abspülen oder mit dem Pinsel zu entfernen ist, ohne Verschiebungen und Schädigungen in der Stäbchenschicht zu verursachen, unmöglich.

Um den genannten vom Epithel veranlassten Störungen zu entgehen, muss man dieselben während der Entstehung des Optogramms entweder ganz zu vermeiden suchen, und das geschieht durch gedämpfte, aber längere Belichtung, oder es muss das Bild so beschaffen und namentlich so klein sein, dass der weitaus grösste Theil der Netzhaut unbelichtet bleibt, so dass das Epithel, trotz der Neigung die belichteten Stellen zu bedecken, sich auch von diesen mit den übrigen im Zusammenhange ablöst. Hebt man aus einem so behandelten Auge die Retina heraus, indem man sie an einem vorderen, vom Optogramme möglichst entfernten Punkte fasst, so bleibt das ganze Epithel im Bulbus zurück und die Mosaik der sechseckigen Zellen hängt dann fest genug in sich und in der Fläche auch mit den hinter den belichteten Orten befindlichen Zellen zusammen, um das continuirliche Abtrennen der Retina durch sanften Zug überall zu gestatten. Auf diese Weise überzeugt man sich, dass bei sehr kleinen Bildern auch die Verwendung intensiveren Lichtes möglich wird; doch hat dies seine Grenzen und wo direktes Sonnenlicht, aber durch mattes Glas gedämpft, zur Wirkung kommt, pflegt die Netzhaut gerade da, wo das Optogramm zu suchen ist, einen unregelmässigen schwarzen Fleck oder, was in vieler Hinsicht besonderes Interesse bietet, Theile des Optogrammes nicht hell auf purpurnem Grunde, sondern durch schwarzes Epithel gekennzeichnet auf der gefärbten Fläche zu zeigen.

Im Begriffe, die Optographie beim Frosche als Methode zur Erörterung einiger für das Sehen wichtiger Fragen zu verwenden, und bemüht an der Hand der eben angedeuteten Erfahrungen die Technik zu verbessern, fand ich in der Arbeit von *Boll*

Digitized by Google

„zur Anatomie und Physiologie der Retina“ eine Angabe, (Archiv f. Anat. u. Physiol. 1877, Heft 1, S. 9), welche in überraschend einfacher Weise die locale Ausbleichung der Retina im Auge des lebenden Frosches durch das Licht zu zeigen sucht. Der Versuch besteht darin, dass man den Laden eines direkt von der Sonne beschienenen Fensters bis zum Entstehen eines „verhältnissmässig schmalen“ Sonnenstreifens im übrigens unbelichteten Zimmer schliesst und den Curarefrosch mit dem Auge 10 Min. in jenen Streifen legt; die herausgenommene Retina zeige dann einen „scharf gezeichneten farblosen“, sie in zwei rothe Hälften trennenden Streifen. Wer den Versuch ausführt, wird auf eine erste, auch von mir, wenn ich nicht gerade viel mit Lichtspalten und Heliostaten zu thun gehabt hätte, vielleicht erst während des Experimentirens erwogene Schwierigkeit stossen, nämlich, dass der Sonnenstreif wegen der Erdbewegung nicht 10 Min. lang auf dem Froschkopfe oder vor dem Auge bleibt und dass man, um dem Uebelstande zu begegnen, den Streifen noch ausserordentlich breit nehmen muss, selbst wenn der Frosch schon recht nahe an das Fenster gelegt wird. Der Ladenspalt ist also entweder unmässig breit zu machen, oder wenn der Lichtstreif „verhältnissmässig schmal“ sein soll, muss der Frosch, von 2 zu 2 Min. etwa, verschoben werden, falls man nicht den Spalt selbst verrücken will, wie es mit Klappladen möglich ist. Dass dies Alles Bedingungen sind, welche zu sehr geringen Hoffnungen auf ein „scharf gezeichnetes“ Bild berechtigen, liegt auf der Hand. Ich habe bei der geduldigsten Wiederholung des Versuches unter jedem denkbaren Wechsel in Bezug auf die eben genannten Umstände und indem ich die Entfernung des Auges vom Spalte von 12 zu 30, 50, 60, 100, 150 und 200 Ctm. änderte, nie etwas Anderes zu erreichen vermocht, als ganz diffuse, meist fleckige Ausbleichungen der Retina oder ein so starkes Haften des Pigmentes, dass an den Nachweis einer localisirten Veränderung gar nicht zu den-

Digitized by Google

ken war. Liess ich den Frosch ohne Rücksicht auf die unerwünschte Verschiebung des Lichtstreifens mit dem Auge zum Ladenspalte gewendet liegen, so fand ich nach 10 Min. überhaupt keine Ausbleichung, sondern erst nach 30 Min. eine wieder so diffuse, dass auf eine von dem linearen Objecte, oder von dem diesem entsprechenden Bilde, herrührende Veränderung durchaus nicht zu schliessen war. Ich kam dann auf den Gedanken, dass der Versuch vielleicht hinter matt geschliffenen Scheiben oder an mit durchsichtigem Papier bezogenen Fenstern vorgenommen worden, aber auch diese Erklärung versagte, weil ich dann in dem zerstreuten Lichte den von *Boll* genannten Sonnenstreifen nicht ordentlich sah, und weil es jetzt bei ganz bedeutender Weite des Spaltes wenigstens 20 Min. dauerte, bis eine Veränderung in der Retina zu constatiren war, die jedoch im Wesentlichen wiederum in dem misslichen Haften des Epithels bestand. Um jeder Möglichkeit gerecht zu werden, wurde noch ein Verfahren eingeschlagen, von dem ich zwar nicht weiss, ob *Boll* es angewendet, das aber dem Principe seines Versuches noch am besten entsprach: es wurde die ganze Breite des Fensters mittelst eines Rollladens mit einem horizontalen Spalte versehen und der Frosch so in den Sonnenstreif gelegt, dass das grelle Licht bei der gewählten Breite desselben 10 Min. und länger auf dem Auge verweilen konnte; indess war der Erfolg nicht besser und nicht anders, als früher. Ein Versuch an einem für den Zweck vorbereiteten Froschauge (vrgl. unten), das Bild des Spaltes und der Sonne, dessen Darstellung der *Boll*'sche Versuch voraussetzt, am Augengrunde durchscheinen zu sehen, zeigte auch sofort die Unmöglichkeit das Ziel zu erreichen, denn das Einzige, was man scharf sah, war das kleine Bild der Sonnenscheibe, während die Spalträuder bei jeder gewählten Entfernung in dem diffusen Lichte, welches das ganze Auge erfüllte, sehr schlecht zu unterscheiden waren. Ich legte deshalb noch Frösche absichtlich so in den Sonnenstreif, dass das Bild der Sonne womöglich

Digitized by Google

nicht, oder ganz peripherisch, sondern das des von der Tischplatte reflectirten Lichtstreifens in's Auge fallen musste, und verschob den Tisch von Zeit zu Zeit der Erdbewegung entgegen, aber auch so blieb der von *Boll* angegebene Erfolg aus, insofern erst nach 20—30 Min. die Lichtwirkung an der Retina, jedoch abermals als eine diffuse zu constatiren und in den meisten Fällen das Pigment der Untersuchung absolut hinderlich war. Schliesslich habe ich denn die Versuche auf meine Weise vorgenommen, indem ich statt des hohen, das ganze Fenster, oder $^1/_3$ bis $^2/_3$ desselben überschneidenden Ladenspaltes den kleinen am Heliostaten nahm und mittelst des Spiegels den Sonnenstreif unbewegt auf dem Auge des Frosches erhielt. Obwohl der Spalt jetzt nur 1 mm. und 2 mm. breit genommen wurde, erzielte ich auf Entfernungen von 12 und 15 Ctm. wieder nur diffuse Veränderungen, und erst als ich die Oeffnung mit einem Stückchen matten Glases deckte, bekam ich meist in Schwarz ausgeführte Optogramme, indem das Epithel hauptsächlich an den vom Bilde nicht eingenommenen Theilen der Retina abriss. Die erforderliche Belichtungszeit betrug 20 Min.

Um gute Optogramme zu erhalten, habe ich in derselben Weise, wie früher am Kaninchenauge, an dem des Frosches erst die zur Entstehung eines scharfen Bildes nöthige Entfernung des Objectes zu bestimmen gesucht, was ich trotz der ausserordentlichen Undurchsichtigkeit*) der Chorioïdea ausführbar fand. Ich

*) Das Froschauge ist in Folge des Chorioïdalpigmentes so undurchsichtig, dass man keine Spur direkten Sonnenlichtes durch dasselbe wahrzunehmen vermag. Ich setzte die Augen lichtdicht in ein Diaphragma, verschloss damit den erweiterten Spalt am Heliostaten und betrachtete die Rückfläche von dem ganz dunklen Zimmer her: es war unmöglich, eine Spur des Sonnenbildchens zu erkennen, und ebenso unmöglich Lichtschimmer durch die Cornea zu bemerken, wenn das Auge umgekehrt gegen die Lichtquelle stand. Dagegen ist der ganze Frosch, in dieser Weise betrachtet, derartig durchsichtig und durchleuchtet, dass man vortrefflich die Lunge

Digitized by Google

brachte das Auge mit der Cornea auf eine aus Glas geblasene, concave Unterlage, schnitt ein sehr kleines Loch in die Sklera, eben gross genug um die Befestigung des Sehnerven zu lösen, und legte einen Cirkelschnitt um den hintern Pol des Auges, indem ich vorsichtig die eine Scheerenbranche zwischen die Uvea und den Skleralknorpel schob. Man erreicht es so verhältnissmässig leicht, die hintere Bedeckung des Bulbus in Gestalt eines kleinen, recht durchsichtigen Napfes abzuheben. Schwieriger ist es, darunter die Uvea und das Pigmentepithel ohne Schaden für die Retina zu entfernen und es ist dies nur am Auge von Dunkelfröschen ausführbar. Kleine Risse in der Retina schaden nicht, falls vom Glaskörper nichts ausrinnt. Sind die undurchsichtigen Häute entfernt, so deckt man das Sklerastückchen wieder auf die alte Stelle, indem die zusammengehörigen, an Unregelmässigkeiten der Schnittführung leicht kenntlichen Randtheile auf einander gepasst werden; hierauf kommt das Auge in ein ganz kleines, am Boden mit einem Sehloche versehenes, schwarzes Pappkästchen, dessen Rand so abgeschnitten wird, dass ein übergelegtes und mit Klebwachs befestigtes Deckgläschen den hintern Augenpol gerade berührt. Indem man die Seitenfläche des Kästchens auf ein Stäbchen spiesst, erhält man ein zur Untersuchung des Netzhautbildes handliches und äusserst zierliches Präparat, an welchem das Bild so deutlich durch den Hyalinknorpel des Skleraldeckels schimmert, dass man dasselbe mit der Loupe beobachten kann. Von einer Gasflamme oder von einer schwarzen Figur auf mattem gegen das Tageslicht gewendeten Glase erhielt

mit den Gefässen, die Leber und besonders das schlagende Herz erkennen kann. Ich möchte nicht versäumen, auf das Letztere aufmerksam zu machen, weil manchen Fachgenossen mit dem einfachen Mittel, die wichtigsten innern Organe ohne Blosslegung betrachten zu können, gedient sein dürfte. Es wäre zu versuchen, ob nicht an gut rasirten Kaninchen die Eingeweide des Thorax, nöthigenfalls nach dem Anlegen zweier gegenüberstehender, nur die Haut entfernender Fenster ebenso sichtbar zu machen sind.

Digitized by Google

ich scharfe Bilder, wenn ich die Cornea um 12—15 Ctm. entfernte, doch blieben dieselben unter entsprechender Verkleinerung noch hinreichend deutlich bei 40 — 50 Ctm. Abstand. Ich will nicht behaupten, dass die Verhältnisse an dem hergerichteten Auge ganz die nämlichen seien, wie in dem am Kopfe befindlichen, unberührten, aber ich habe niemals fehlgegriffen, wenn ich beim Curarefrosche das Object 15 Ctm. vom Auge entfernt aufstellte, und stets Optogramme von untadelhafter Schärfe erhalten, wenn die übrigen Bedingungen die richtigen waren.

Als Object habe ich die Gasflamme aufgegeben, weil die Wiedererkennung ihrer Gestalt im Bilde häufig gerechten Einwendungen unterliegt, schon wegen der nicht controlirbaren Bewegung der züngelnden Spitzen und Ränder und vollends, wenn Falten durch das Bild gehen. Ausserdem können gewisse, zuweilen sehr scharf gezeichnete Pseudooptogramme, welche von dem auch bei Dunkelfröschen häufig vorkommenden Ausreissen ganzer Stäbchengebiete herrühren, zu Täuschungen führen; man unterscheidet diese oft mehrere Quadratmillimeter grossen purpurfreien Ausschnitte leicht von Optogrammen durch mikroskopische Untersuchung, welche die fraglichen Stellen ausschliesslich mit den farblosen Zapfen reichlich besetzt zeigt. Statt der Flamme nehme ich jetzt ähnliche Gegenstände, wie beim Kaninchen, nämlich eine matte Glastafel von 45 und 55 Ctm. Seite, der längeren Seite parallel mit 5 hellen und 4 undurchsichtigen, schwarzen Streifen von je 5 Ctm. Breite versehen. Dieselbe bildet den unteren Verschluss eines in geringer Höhe über dem Arbeitstische beginnenden, in die Decke des Dunkelzimmers eingesetzten und auf das Dach mündenden, lichtdichten Trichters, dessen obere gegen den Himmel gewendete Oeffnung durch eine grössere, schräg nach Süden gewendete Glastafel gedeckt wird. Bei sehr hellem Wetter oder Sonnenschein wird das Licht durch matte Glastafeln über dem Objecte abgeschwächt.

Digitized by Google

Hinsichtlich der geeigneten Intensität ist z. Zt. nur ganz allgemein anzuführen, dass mir sehr trübe Tage (im September Nachmittags von 3 — 5 Uhr) die besten Optogramme geliefert haben und zwar nach sehr langer Exposition in $1 - 1^1/_2$ und 2 Stunden. An solchen dunkeln Tagen genügte Mitte September jedoch die Zeit von 3—6 Uhr (also 3 Stunden), das Optogramm vollständig zu verderben, indem das Pigment nirgends von der Retina mehr abzulösen war. Fiel Sonnenschein auf den oberen Verschluss meiner Vorrichtung, ohne die untere Platte direct zu treffen (die Wände des 280 Ctm. hohen, oben 4270□ Ctm. weiten Trichters sind innen weiss gestrichen), so waren ohne Dämpfung 30 Min. Exposition erforderlich, aber ich erhielt bisher auf diese Weise selten hinlänglich pigmentfreie Netzhäute, um mehr als Theile des Optogramms erkennen zu können. Die Frösche lege ich im curarisirten Zustande auf eine Unterlage von weicher schwarzer Wolle so unter das Centrum des Objectes, dass die Cornea des in der Regel durch einen in's Maul geklemmten Papierballen etwas vorgedrängten und von der Nickhaut befreiten Auges 15 Ctm. davon entfernt ist. Atropin anzuwenden fand ich überflüssig, da die Verengung der Pupille, die bei den Curarefröschen übrigens nur auf der belichteten Seite auffällig war, nicht nachtheilig schien. Wenn es die Beleuchtung gestattet, in einer Stunde mit dem einen Auge fertig zu werden, so pflege ich die nächste Stunde zur Herstellung des Optogramms auf der andern Seite derselben Thiere zu benutzen, indem ich dieselbe einfach umwende.

Nach dem genannten Verfahren ist es nun möglich so grosse Optogramme zu erhalten, dass die Bildränder ausserhalb des Kreisschnittes fallen, durch den die Retina beim Herauslösen gewöhnlich begrenzt wird und man kann daher das Präparat selbst dann noch brauchen, wenn es zerrissen oder gefaltet zur Ansicht kommt. Lag der Frosch nicht unter dem Centrum des Objectes

Digitized by Google

oder war er etwas um die Längsaxe gedreht, so pflegt eine Ecke des Rahmens mit grosser Schärfe hervorzutreten. Jederzeit ist aber mit Sicherheit auf die Abbildung mehrerer heller Streifen des Objectes zu rechnen, welche im Centrum der Netzhaut mit untadelhafter Schärfe nahezu parallel verlaufend, durch purpurfarbene Bänder getrennt zum Vorschein kommen. Nach zu langer Exposition sind die hellen Streifen des Optogramms breiter als die farbigen, die letzteren mehr brandroth. Wo die gefärbten und die farblosen Streifen gleiche Breite hatten (wie die dunkeln und hellen des Objectes), fand ich diese im Centrum des Bildes und der Retina etwa = 0,6 mm. und in diesen Fällen war die Zeichnung so scharf, dass sie, selbst mikroskopisch (*Hartnack*, Syst. 7) betrachtet, kaum verlor.

Froschoptogramme bleiben häufig trotz nachträglicher vollständiger Ausbleichung der isolirten Retina noch kenntlich, indem die vorher farblosen Streifen grau tingirt, also dunkler zum Vorschein kommen, als diejenigen, welche purpurfarben waren. Dies rührt von der Einlagerung schwarzen Pigments zwischen den Stäbchen her, denn wenn man auch mit der schwachen Belichtung das unlösbare Haften der Stäbchenschicht am gesammten Epithel vermeidet, so werden doch bei diesem Verfahren (vollends nach etwas intensiverer Belichtung) die Pigment tragenden Epithelfortsätze an den belichteten Stellen so fest zwischen die Stäbchen geklemmt, dass sie beim Abziehen der Netzhaut von ihren Ursprüngen an den Zellen abreissen. In einer folgenden Abhandlung wird eingehend bewiesen werden, dass dies auf einer durch das Licht im lebenden Auge erzeugten messbaren Anschwellung der Stäbchen im Dickendurchmesser beruht. Vorläufig will ich dazu hier nur bemerken, dass die unteren sog. Innenglieder der Stäbchen, bis zu welchen das Pigment dringen kann, im Querschnitte nicht kreisförmig, sondern kantig, meist sechseckig sind und durch keine weiten Zwischenräume, wie am hintern Ende, sondern nur durch

Digitized by Google

lineare, äusserst schmale von einander getrennt sind. Daher rührt auch die gänzlich verschiedene Zeichnung, welche die Stäbchenmosaik beim Anblick einer ungedrückten Froschnetzhaut von der vorderen Fläche gewährt. Alle Stücke des Musters sind hier eckig und hart aneinander gepresst, die grösseren helldurchsichtig, die kleineren, oft dreieckigen, grau bis grauschwarz und es entsprechen die ersteren den Stäbchen, welche das Licht durchlassen, die letzteren den Zapfen, deren conische Aussenglieder den grössten Theil des von unten und hinten kommenden Lichtes durch Reflexion am Durchgange hindern. Einzelne grössere Sechsecke von ähnlich grau trübem Aussehen entsprechen zufällig schief gestellten Stäbchen. Wie in den engen unteren Zwischenräumen die Fortsätze der Pigmentzellen schon im Beginn des Anschwellens der Stäbchen fixirt werden, begreift man daher leicht.

Es kann auffallen, dass die Optographie am lebenden Frosche bei dem schlechtesten Tageslichte und selbst bei Gaslicht möglich ist, während doch im Zimmer gehaltene Frösche ohne direktes Sonnenlicht den Sehpurpur nicht einbüssen. Erwägt man indess, dass die Netzhaut der mit Curare gelähmten Thiere während der Exposition ununterbrochen immer an den nämlichen Stellen der Lichtwirkung unterliegt, so wird die Thatsache wohl verständlich. Ich habe Frösche unter Glaskästen neben den curarisirten so verweilen lassen, dass ihre Augen nahezu in gleicher Entfernung vom Objecte blieben, wie die der übrigen, und ihre Retina, nach dem Betrachten des Optogrammes an den gelähmten, untersucht, aber keine Spuren von Ausbleichung daran zu erkennen vermocht. Als ich dagegen über einen unvergifteten Frosch ein so enges Glas stülpte, dass er seine Bewegungen wegen des Hindernisses bald einstellte und hoch aufgerichtet stille sass, fand ich in jedem seiner Augen eine peripherische, wahrscheinlich schräg unten gelegene Stelle der Netzhaut erblasst.

Digitized by Google

Die Optographie ist im weitesten Sinne das Mittel gewesen, die locale Wirkung des Lichtes auf die Retina beim Sehen objectiv nachzuweisen, denn sie bewies allein und zuerst, dass das Licht nicht, weil es überhaupt in's Auge gelangt oder weil es irgendwie die Retina erreicht, die Farbe der Netzhaut ändert, sondern dass es dies nur da thut, wo es die gefärbten Elemente trifft. Methodische und zahlreiche mühsame Versuche, die ich ausführte, haben diesen Satz über jeden Zweifel festgestellt und ich bin desshalb nicht gewillt, mir die Priorität oder das Verdienst derselben nehmen zu lassen. Ich würde dies thun, wenn ich Herrn *Boll's* Ausdruck (Accad. d. Lincei 4. Febr. 1877 p. 73), dass meine Versuche seine Resultate über locale Lichtwirkung auf die Retina „*brillantemente*" bestätigten, acceptirte, und erhebe vielmehr gegen denselben Einspruch, nicht nur, weil meine optographischen Versuche vor dem 4. Febr. (am 20. und 27. Jan. Centralbl. f. d. Med. W.) publicirt wurden, sondern weil *Boll* in seinen jetzt vorliegenden ausführlichen Publicationen (l. c.) beweist, dass er unter Umständen ein Optogramm erhalten zu haben glaubte, unter welchen dasselbe, wie vorhin nachgewiesen, niemals auftreten kann. Indem ich Herrn *Helmholtz*'s Ausspruch *), dass „die jetzige Art Prioritätsfragen nur nach dem Datum der ersten Veröffentlichung zu entscheiden, ohne dabei die Reife der Arbeit zu beachten" ein Unwesen sei, vollkommen beipflichte und von den genannten Daten sowohl, wie von Herrn *Boll*'s Verfahren, das seinen einzigen, obenein unmöglichen Versuch einmal in die Zeit vom 6. Dec. 1876 bis zum 4. Febr. 1877 (Acc. d. L.), das andere Mal (Arch. f. Anat. u. Physiol. S. 9 u. 10) vor den 12. Nov. 1876 verlegt, absehen kann, betone ich mit um so grösserem Nachdrucke, in welcher Weise die Optographie bis heute und von mir allein ausgearbeitet worden ist.

*) *H. Helmholtz*, Rede: Das Denken in der Medicin. Berlin 1877, *Hirschwald*'s Verlag.

Digitized by Google

Umgekehrt kann ich Herrn *Boll* nicht das Recht zugestehen, ihm ungünstige Publicationsdaten bezüglich einer andern hier unmittelbar anknüpfenden Frage zu ignoriren, wie er es bei der Erörterung der nach seiner Aussage vor dem 28. Nov. von ihm, zur Entscheidung der Bedeutungslosigkeit des Absterbens für das Ausbleichen des Sehpurpurs, vorgenommenen Versuche, den meinigen gegenüber in seiner ausführlichen Abhandlung (datirt v. 6. März 1877) thut. Indem Herr *Boll* meine vollkommen beweisenden Experimente, die schon am 5. Jan. publicirt wurden, übergeht, unternimmt er es zu zeigen, dass er die für die Beziehungen des Sehpurpurs zum Sehen wesentlichste aller Thatsachen, dass nur das Licht die isolirte oder absterbende Retina bleiche, vor mir in dem Augenblicke gefunden habe, wo er das Gegentheil publicirte. Als ihm Bedenken hinsichtlich der Bedeutung des Absterbens, dem er das Bleichen der isolirten Retina ausschliesslich zugeschrieben hatte, kamen, köpfte er, seiner Erzählung nach, Frösche und untersuchte er die Augen von 5 zu 5 Minuten, endlich nach 24 Stunden. Er fand die Netzhaut immer noch gefärbt und dies dient ihm noch heute zum Belege, dass abgestorbene Netzhäute unverändert in der Farbe sind. Wer die Lebenseigenschaften der Gewebe des Frosches kennt, kann offenbar nie und nimmer glauben, dass die Netzhaut gleich absterbe, weil der Frosch geköpft wird, denn es ist ja bekannt, dass sie auf Lichtreiz Erregungen noch lange auf die Iris überträgt. Niemand kann darum verstehen, wie Herr *Boll* nur auf den Gedanken kam, in den nächsten Minuten und Stunden nach dem Köpfen die Retina abgestorben zu finden, und wenn er es nach 24 Stunden für sicher hielt, so begreift man dies schon eher, aber verlangt doch Angesichts der Thatsache, dass besonders im December zu dieser Zeit noch Nerven, Muskeln und vollends weisse Blutkörperchen überleben, Beweise. Dagegen war es sehr fraglich, ob die an ihren beiden äusseren Blättern, der

Digitized by Google

Stäbchen- und der Epithelschicht aufgerissene Netzhaut noch überlebe, da man den nackt zu Tage liegenden Stäbchen wohl ein ähnliches Verhalten, wie das eines angerissenen Muskels, der in der Nähe der Verletzung fast momentan abstirbt, zutrauen durfte. Hier konnte nur ein Versuch helfen, nämlich die im Dunkeln oder vor unwirksamem Lichte isolirte Retina im Dunkeln zu lassen und sich zu überzeugen, dass sie niemals eher entfärbt wird, als bis das Licht darauf scheint. Diesen allein entscheidenden Versuch habe ich gemacht und Herrn *Boll* ist er bis heute noch nicht einmal nöthig erschienen. Ich bin aber bekanntlich dabei nicht stehen geblieben, denn es kamen mir immer noch Bedenken gegen die Beweiskraft des Versuches, da man ja von keinem darauf ununtersuchten Gewebe wissen kann, wann es die physiologische Leistungsfähigkeit eingebüsst hat. Von den Stäbchen konnte man es speciell nicht wissen, ob sie nicht sehr lange überleben und war dies der Fall, so konnte eine in allen anderen Schichten schon abgestorbene Netzhaut mir noch den Streich spielen durch Licht erregt zu werden und in Folge der Erregung, dann natürlich im Lichte erst, schnell abzusterben und sich desshalb zu entfärben; nach Analogieen für ein derartiges Verhalten braucht man in der That nicht weit zu suchen. Wie ich solchen Einwänden, die Andere nicht berührt zu haben scheinen, sicher begegnete, ist bekannt und bedarf der Wiederholung nicht, fordert aber den Vergleich heraus gegen eine Methodik, die in der gelegentlichen Beobachtung, dass die Netzhaut bei trübem Wetter langsamer bleicht, als bei klarem, schon Beweise erblickt, dass das Absterben nicht Schuld daran sei, oder die in dem Umstande, dass die Ora serrata belichteter Frösche zuweilen ausschliesslich geröthet ist, locale Wirkung des Lichtes bewiesen findet. Wie oft muss es denn immer wieder gesagt werden, dass unsere Experimentirkunst dazu da ist um die Beweise zu schaffen, dass die

Digitized by Google

Ursache, die wir einer Erscheinung unterlegen, wirklich die einzige und wesentliche sei?

Da Herr *Boll* sich nur auf Versuche bezieht, von denen eben nachgewiesen wurde, dass sie absolut nichts Entscheidendes für die Frage nach der Wirksamkeit des Absterbens auf den Sehpurpur enthalten, so hat es für seine Ansprüche keinen Werth, ob er dieselben in der Correktur seiner ersten Veröffentlichung „implicite andeutete" oder nicht. Er behauptet es gethan zu haben durch den Hinweis auf die rapide Entfärbung der Netzhaut „wenigstens bei Warmblütern" (l. c.) („besonders bei Warmblütern" heisst es im Texte, Berl. Acad. Ber. 23. Nov. 1877) nach dem Tode, aber ich muss bemerken, dass der Leser damit nur bestärkt werden konnte, dem Verfasser die Verwechselung des Lichteinflusses mit dem des Absterbens zuzuschreiben, weil das schnellere Absterben vieler Gewebe bei Warmblütern notorisch ist.

Hinsichtlich meiner Ansprüche hat dagegen jener Zusatz im Sinne seines Verfassers Werth, denn er zeigt, dass Herr *Boll* zu der Zeit, auf welche er meinen Versuchen gegenüber Gewicht legt, nicht wusste, dass auch im Säugethierauge die Retinafarbe den Tod um Tage und die heftigste Fäulniss überdauert. Noch heute nimmt *Boll* gegen diese meine leicht zu bestätigenden Befunde an, dass die Netzhautfarbe nach 24 Stunden ohne Licht „ziemlich plötzlich" vergehe (l. c. p. 11). Wenn man weiss, dass einzelne Gewebe und Elementarorganismen der Säuger, z. B. das rechte Herzohr, die weissen Blutkörperchen, Flimmerzellen und Samenfaden diese Zeit ganz gut überleben können, so sieht man, dass Herrn *Boll* auch heute noch die bindenden Beweise für die Unwirksamkeit des Absterbens fehlen und man könnte Niemanden ohne die Versuche, welche ausschliesslich mein Eigenthum sind, widerlegen, wenn er Leichenprocessen zuschriebe, was Wirkung des Lichtes in der Netzhaut ist.

Ich habe das von mir bewiesene Factum, dass nicht das Ab-

Digitized by Google

sterben, sondern ausschliesslich das Licht die Ursache der Entfärbung einer isolirten Retina ist, die wichtigste aller Thatsachen für die Bedeutung des Sehpurpurs zum Sehen genannt. Es liegt mir fern, damit die Bedeutung der *Boll*'schen Entdeckung, dass im Leben gehörig belichtete Frösche farblose Netzhäute bekommen, die den Ausgang aller heute vorliegenden Arbeiten über den Sehpurpur bildet und in dieser Beziehung bahnbrechend ist, abschwächen zu wollen und ich erkenne auch Herrn *Boll*'s Verdienst, das allgemeinere Vorkommen der Netzhautfarbe erkannt zu haben, bereitwillig an, obwohl ich gewünscht hätte, dass er in klarerer Weise, als es durch die Andeutungen in der Sitzung der Accad. d. Lincei vom 6. März geschehen, seine Bekanntschaft mit Max *Schultze*'s darauf bezüglichen Beobachtungen erklärt hätte. Weder das literarische Verhalten Herrn *Boll*'s, noch die Unterstützung, welche er sich Seitens des Redacteurs der Annales d'Oculistique und Verfassers des traurigen academischen Berichtes über die Louise Lateau gefallen lässt, werden mich von dieser Anerkennung abwendig machen. Verdienste, die Herr *Boll* darüber hinaus gegen mich in Anspruch nimmt, bestreite ich dagegen auf das Bestimmteste, denn sie fussen auf meinen Beobachtungen und waren seinen wissenschaftlichen Methoden unzugänglich.

In der Lehre vom Sehpurpur ist der Fall eingetreten, dass sich das Verhalten eines abgestorbenen, in seiner Gesammtleistung zerstörten Gewebes als Angelpunkt zur Erkenntniss der wichtigsten Vorgänge im lebenden herausstellt: ein an der Leiche zu constatirendes Phänomen eröffnete allein das Verständniss des Lebensvorganges. Wusste man nicht, dass der Sehpurpur in der todten Netzhaut und ganz unabhängig von der Beschaffenheit seines Standortes durch Licht entfärbt wird, so wusste man nicht, ob er in der lebenden Netzhaut durch Licht zersetzt oder durch Resorption entfernt werde; man wusste ferner nicht, was Herr

Digitized by Google

Boll von seinen Erfahrungen aus, mit Recht noch immer nicht wissen will, ob die Färbung auf einem chemischen Körper, die Entfärbung auf einem photochemischen Processe beim Sehen beruhe, man wusste endlich nicht, ob die Purpurbleiche nicht ein secundäres Phänomen an dem gereizten nervösen Organe sei, etwa der Säuerung des gereizten Muskels vergleichbar, man wusste also nicht, dass das Licht eine primäre Veränderung hervorbringt, die zum Nervenreize werden kann. Dass es heute so viele Antworten, wie jene Fragen gibt, ist die Frucht einer histologischen Untersuchung, welche sich von der Arbeit *Boll*'s darin unterscheidet, dass sie von der Beobachtung überall erst zum Experimente schritt, bevor sie wagte zu deduciren und den Boden der Speculation zu betreten.

Heidelberg, den 21. Sept. 1877.

Digitized by Google

Eine Beobachtung über das Leuchten der Insectenaugen.

Von **W. Kühne.**

Das Leuchten der Augen vieler nächtlich fliegender Schmetterlinge ist zwar sehr bekannt und seit *Roesel*, *Kleemann* u. A. vielfach beschrieben, aber es gibt darüber noch keine eingehende Untersuchung, welche das schöne und auffallende Phänomen so verständlich machte, wie es einst das Leuchten des einfachen Auges durch *Brücke's* classische Arbeiten wurde. Ich muss es mir aus Mangel sowohl an Material, wie an Erfahrung über den Bau des facettirten Auges, über welches die grossartigen Untersuchungen *Grenacher's* (Beilageheft z. d. klin. Monatsblät. für Augenheilk. XV. Mai) soeben erst neue und ungeahnte Aufschlüsse geben, leider auch versagen, tiefer als Andere auf den Gegenstand einzugehen, aber ich glaube einiger Beobachtungen, die ich im zufälligen Besitze weniger Exemplare von Acherontia atropos und von Notodon (trilophus?) machte, erwähnen zu dürfen, da dieselben meines Wissens neu sind und vielleicht Anregung zu weiterem Studium der Sache geben werden.

An den grossen vorstehenden Augen des Todtenkopfes ist das Leuchten Abends bei Lampenlicht ausserordentlich leicht zu bemerken; der Kopf des Thieres scheint zwei rothglühende Kohlen zu tragen, welche der Art den Eindruck des Selbstleuchtens

Digitized by Google

machen, dass man Mühe hat, sich von der ausschliesslich in Reflexion von Licht bestehenden Ursache zu überzeugen. Wenn ich in einer vollkommen geschwärzten Kammer, wo nichts wie mein Gesicht, Hände oder Wäsche bemerkbares Licht reflectirten, den Schmetterling unter den Tisch hielt, worauf die Lampe stand, so blieb das Leuchten noch höchst auffällig, obwohl der Träger der Augen kaum mehr zu erkennen war. Begreiflich genügte es die Flamme zu löschen, oder das eigene Auge und Gesicht so zu beschatten, dass kein Licht auf das Object reflectirte, um die Erscheinung sofort aufzuheben. Bei Notodon fand ich den Glanz des kleinen Auges zwar noch heller, im Gaslicht mehr gelblich, aber es bedurfte ähnlicher Cautelen, wie beim Säugerauge, oder des Augenspiegels um das Leuchten zu erkennen.

Da mich die intensiv rothe Farbe des leuchtenden Todtenkopfauges in Rücksicht auf die Annahme *Leydig's* (Archiv für Naturg. XXXXIII. 1. Bd.), dass die Purpurfärbung der Sehstäbe sich daran betheilige, interessirte, wollte ich die Untersuchung am Tage vornehmen, indem ich zerstreutes weisses Himmelslicht vom Heliostaten durch eine kleine Oeffnung in's Dunkelzimmer treten liess. Zu meinem Erstaunen war (11 Uhr Morgens) keine Spur des Leuchtens wahrzunehmen, sondern die Augen schienen an der Cornea wie mit dünnem Mattglase überzogen. Ebenso verhielten sie sich jetzt bei Lampenlicht und trotz Zuhülfenahme des Augenspiegels war erst Abends 6 Uhr wieder etwas von der Erscheinung zu bemerken, indess weniger intensiv als früher und nur bei bestimmten Stellungen des Kopfes zur Richtung des auffallenden Lichtes gut kenntlich. Sah ich das Auge von der Seite an, so erblickte ich nur ein kleines dreieckiges, leuchtendes Feld, in dem sich einige schwarze Figuren befanden, während ich von vorn ein grösseres rothglänzendes, kreisförmiges Bild sah. Nachdem ich dem Thiere bis 10 Uhr Abends Ruhe gelassen, fand ich die Augen wieder so auffällig und unter denselben Um-

Digitized by Google

ständen feurig glühend, wie am Abend zuvor, aber ich bemerkte, dass sie während des Augenspiegelns matter wurden, indem sich die lichte Kreisfläche unregelmässig einengte und schwarze Figuren darin auftraten. Wurde das vorspringende Auge aus anderer Richtung, mehr von vorn oder von oben betrachtet, so hatte man von Neuem das Bild einer grossen leuchtenden Scheibe, an welcher sich das Erlöschen ähnlich wiederholte. Nach viertel- bis halbstündigem Verweilen im Dunkeln war die Erscheinung abermals so glänzend wie zuvor. Offenbar brachte also Blendung im Auge die Veränderung hervor, welche die Rückkehr des einfallenden Lichtes zur Leuchtquelle oder zu meinem Auge hemmte. Um darüber Sicherheit zu haben, beleuchtete ich das wieder im Dunkeln ausgeruhte Auge mit der Flamme eines rasch abbrennenden 20 Ctr. langen Magnesiumbandes, während ich das der andern Seite mit schwarzer Wolle bedeckt hielt. Augenblicklich trat der erwartete Erfolg ein: in dem geblendeten Auge war jede Spur des Leuchtens erloschen, während das geschützte sich verhielt wie zuvor. So blieb das Verhalten während einer Stunde und vermuthlich während des grössten Theiles der Nacht, denn als ich am folgenden Morgen um 8 Uhr nachsah, fand ich am rechten (geblendeten) Auge immer noch kein Leuchten, während das linke, wie man es auch betrachtete, überall ein freilich sehr kleines, aber deutlich leuchtendes, kreisförmiges Feld erkennen liess. Um 10, 1, 4 und 6 Uhr war auch dieses verschwunden, Abends $8^1/_2$ Uhr der normale Glanz beiderseits zurückgekehrt. Ich überzeugte mich um 11 Uhr nochmals von der vollen Entwicklung des Phänomens, ohne lange zu beobachten, da ich Blendung vermeiden wollte, und besah mir die Augen am dritten Morgen um $7^1/_2$, 8 und 9 Uhr wieder. Jetzt war das allmählige Schwinden des Glanzes abermals zu constatiren, um 9 Uhr garnichts mehr davon zu bemerken und so blieb es bis 5 Uhr Nachmittags, wo das Leuchten wieder begann, um gegen

Digitized by Google

8 Uhr die grösste Intensität und Ausdehnung zu erreichen. Ebenso verlief der vierte Tag, aber Abends war die Erscheinung weniger intensiv, die scheinbaren Glühflächen kleiner und unregelmässig gestaltet; das Thier war jetzt ziemlich matt und zirpte nicht mehr beim Anfassen. Ich stellte noch einen Blendungsversuch an und bemerkte, dass es längerer Magnesiumbelichtung und vieler Wendungen des Kopfes gegen die Flamme bedurfte, bis das Auge aus jeder Richtung betrachtet, glanzlos erschien. Mit aller wünschenswerthen Deutlichkeit sah ich jetzt, dass das Leuchten lokal verging, und z. B. nach blos seitlicher Belichtung von vorn und von oben noch recht intensiv auftauchte, als man von der Seite garnichts mehr bemerken konnte. Am fünften Tage, Morgens 9 Uhr, fand ich das Thier todt, das geblendete Auge vollkommen dunkel, während das linke von vorn und von der Seite, mit dem Augenspiegel betrachtet, noch ein sehr kleines, leuchtendes Scheibchen darbot, das jetzt vorgenommener längerer Magnesiumbelichtung Stand hielt. In den vor Natronlicht zerzupften Augen fand ich die Krystallkegel gut erhalten und diffus verbreitetes braun-violettes Pigment, das gegen andauerndes Tageslicht beständig war.

Bei einem 2ten sehr matten Exemplare von Acherontia mit unentfalteten Flügeln, sah ich weder am Tage, noch Abends irgend welche Spur von Leuchten. Herr Dr. *Weiss*, der mir das, übrigens am folgenden Tage sterbende, Thier brachte, berichtete, dass die Augen Tags zuvor um Mittag geleuchtet hätten und dass Magnesiumblendung wirkungslos gewesen sei.

Es wird durch fernere Beobachtungen festzustellen sein, ob das Erlöschen des Leuchtens trotz Verdunklung am Tage, wie ich es beobachtete, häufig und normal ist. *Max Schultze* gibt für Sphinx convolvuli (Die zusammengesetzten Augen der Krebse und Insecten, Bonn 1868) sehr entschieden an, dass die Augen am Tage und im dunkeln Keller geleuchtet hätten. Da ich seine

Digitized by Google

Angaben kannte, habe ich nach dem widersprechenden Befunde nicht versäumt, meine Augen vor der Untersuchung sehr gründlich im Dunkelzimmer auszuruhen, obwohl ich garnicht bezweifelte, dass das feurige Glühen, das man Abends sieht, unter allen Umständen sichtbar sein müsse, sobald es vorhanden ist. Ich muss desshalb *Leydig's* Zweifeln, ob die Erscheinung zu jeder Tageszeit vorkomme (vergl. *Leydig*. Das Auge der Gliederthiere. Tübingen 1864), beitreten, aber als sicher hinzufügen, dass bei lebenskräftigen Thieren das Augenleuchten unter einer Bedingung constant erlischt, d. i. nach der Blendung.

Am Auge von Notodon fand ich, wie schon erwähnt, sehr intensives, nicht rothes, sondern gelbliches Leuchten, und da es an zwei sehr lebhaften Exemplaren den ganzen Tag bestand, konnte ich es auch mit Sonnenlicht erzeugen, worin es fast so weiss wie der Reflex eines Silberspiegels aussah. Im Centrum der kleinen blinkenden Scheibe bemerkte ich ein undeutliches, dunkles Pünktchen, das vielleicht dem eigenthümlichen Verhalten des Centrums der Retinula vieler zusammengesetzter Augen (vergl. *Grenacher* l. c.) entspricht. Wenige Minuten der intensiven Belichtung genügten, das Auge schwarz erscheinen zu lassen, wobei der helle Kreis sehr regelmässig von aussen her einging. Bis zur Rückkehr des ersten kleinen centralen Lichtpünktchens verging eine, bis zur vollen Entwicklung der hellen Scheibe $1^1/_2$ Stunde. Je öfter der Versuch mit Sonnen- oder Magnesiumlicht wiederholt wurde, desto später und unvollkommener wurde das Leuchten beschränkt und wieder hergestellt, und bei dem einen Exemplare, das durch unvorsichtiges Anfassen gelitten hatte, war schliesslich die schon sehr klein gewordene lichte Fläche gar nicht mehr zu beseitigen. Als ich das andere Thier mit Chloroform tödtete, fand ich die vor der Betäubung maximal leuchtenden Augen vollkommen glanzlos. Die herausgenommenen Augen gaben denselben schmutzigvioletten, lichtbeständigen Pigmentbrei, wie die des Todtenkopfes.

Digitized by Google

Wenn festgestellt sein wird, wo die Reflexion des aus dem Insectenauge zurückkehrenden Lichtes stattfindet, wird man mehr als Vermuthungen über den Mechanismus des Erlöschens aussprechen können. Von manchen Augen werden Tracheen als silberglänzendes Tapetum im Hintergrunde beschrieben und die Inconstanz des Leuchtens auf den wechselnden Gasgehalt derselben zurückgeführt (*Leydig*); andere Augen enthalten Muskeln, alle, wie es scheint, dunkles Pigment. Für die Bedeutung des Letzteren beim Erlöschen des Leuchtens durch Blendung scheint mir besonders die Zeit zu sprechen, welche der Vorgang in Anspruch nimmt, die für den Schwund der Tracheengase zu kurz, für die Action der quergestreiften Muskeln zu lang sein dürfte.

Digitized by Google

Untersuchungen über den Sehpurpur.

(Fortsetzung von Heft 2. S. 218.)

Von **A. Ewald** und **W. Kühne.**

II. Entstehung der Retinafarbe.

Unabhängig von den allgemeinen durch Blut- und Lymphströmung bewirkten Ernährungsvorgängen erfolgt die Rückkehr der Retinafärbung oder die Tränkung der Stäbchen mit Sehpurpur, nach der Zersetzung durch Licht, in der lichtempfindlichen Membran unter wesentlicher Betheiligung ihrer äussersten epithelialen Schicht. Wir werden diesen Vorgang als Regeneration, das Epithel, dessen Bedeutung für das Sehen damit zum ersten Male erkannt wurde, als den Regenerator, die darin enthaltene, wirksame, an die Stäbchen gelieferte Substanz als Rhodophylin bezeichnen. Mit dieser Namengebung wird so wenig, wie mit der für den Sehpurpur etwa Das bezweckt, was in der Chemie erst nach Reindarstellung neuer Körper üblich ist, sondern nur gesagt, dass eine eigene Substanz mit einer vor der Hand einzig erkennbaren, aber wesentlichen Eigenschaft anzunehmen sei, ein Verfahren, das in der Physiologie unumgänglich ist, wenn ihre Sprache nicht unnöthig beschwert werden soll. Da Fälle, in welchen physiologische Wirkungen auf etwas vom lebenden Organismus Trennbares zurückzuführen sind, zum Glück immer häufiger werden und fast die gesammte physiologische Chemie auf solchen fusst, so ist es an der Zeit, an die Noth-

Digitized by Google

wendigkeit einer der reinen Chemie gegenüber als vorläufig zu bezeichnenden physiologischen Nomenclatur zu erinnern, die nicht darauf warten kann, dass alle für Lebenserscheinungen wichtige Substanzen ihrer chemischen Constitution nach vollkommen erkannt seien. Um den Unterschied der hinter physiologischen und chemischen Namen stehenden Begriffe zu bezeichnen, dürfte es sich empfehlen, Dinge wie Pepsin, Invertin, Sehpurpur u. s. w., von denen wir z. Zt. nicht wissen, ob sie chemische Individuen oder Mischungen sind, nicht mit dem Worte „Körper", sondern mit dem Ausdrucke „Substanz" zu belegen.

Die Regeneration auf Wirkungen solcher Substanzen zurückzuführen, schien uns die erste und wichtigste Aufgabe der weiteren Untersuchung und wir haben, als wir dazu Aussicht fanden, einstweilen von der Fülle anderer Beobachtungen, die sich über den Process hätten anstellen lassen, abgesehen, in der Meinung, dass das allgemeine Interesse, welches er in Rücksicht auf zahlreiche analoge Vorgänge in der Nerven- und Muskelthätigkeit, so wie überall, wo es sich um den räthselhaften Wechsel von Arbeit, Ruhe und Erholung handelt, bietet, bald von anderer Seite Bearbeitung finden wird. Ausserdem scheint uns das Anknüpfen der Heringschen Hypothese über Dissimilations- und Assimilationsprocesse im Sehacte an die objectiv nachweisbare Zersetzung und Rückbildung des Purpurs so naheliegend, dass wir die Ausbildung dieser Basis einer in gleicher Richtung zu bildenden Theorie für um so nothwendiger hielten.

Von der Autoregeneration.

Seit lange war dem Einen von uns aufgefallen, dass Froschnetzhäute der Entfärbung durch Licht unter Umständen ungewöhnlichen Widerstand leisten, wo an eine Betheiligung des regenerirenden Epithels kaum zu denken war. Retinae ohne jede Spur mikroskopisch sichtbaren Epithelpigments vom Augengrunde ab-

Digitized by Google

gezogen, zeigten vertical aufgestellt am unteren Theile langsamere Ausbleichung, als am oberen, wie wenn etwas die Entfärbung Hemmendes herabgeflossen wäre. Dies gab Veranlassung, nachzusehen, ob reine epithelfreie Retinae nach vollkommener Ausbleichung im Dunkeln wieder Farbe annähmen.

Um die Netzhaut jeder Zeit von der Epithelschicht lockern zu können, empfehlen wir, die Dunkelfrösche lebend einige Stunden in Wasser von 30° C. zu setzen. Es ist zwar im Allgemeinen richtig, dass das Epithel, wie auch Herr *Boll* fand, bei Dunkelfröschen den Stäbchen nicht, bei belichteten sehr fest anhaftet, aber es giebt noch viele andere Bedingungen als Licht und Dunkelheit, welche auf den Zusammenhang der Stäbchen mit dem Epithel von ebenso grossem Einflusse sind. So lange wir diese Bedingungen nicht kannten, mussten wir die Lockerung der beiden äussersten Netzhautschichten in der Dunkelheit für inconstant halten, aber es ist uns gelungen, die Ursache der Unregelmässigkeiten z. Th. aufzudecken und seitdem Präparate jeden gewünschten Verhaltens herzustellen. Vor Allem ist die Temperatur von ausserordentlichem Einflusse, ausserdem die Erhaltung des Kreislaufes im Bulbus. Frösche, welche 1—2 Stunden in Eiswasser gehalten wurden, liefern schwarze Netzhäute, indem das ganze Epithel mit ausschlüpft, und nicht viel besser verhalten sich die Präparate von solchen, die bei 5—10° C. im Dunkeln verweilten. Bei erwärmten Fröschen scheint andrerseits ½—1-stündiges Liegenlassen der Bulbi im abgeschnittenen Kopfe und trotz Erhaltung von etwa 30° C. dieselbe Erscheinung hervorzurufen, welche wir in diesem Falle von dem gleichzeitigen Erweichen des Bulbus durch Abnahme des intraocularen Druckes bedingt halten. Schnell präparirte Netzhäute erwärmter Dunkelfrösche wurden dagegen meist so rein erhalten, dass man Mühe hatte, mit dem Mikroskope Pigmentkörnchen auf oder zwischen den Stäbchen zu entdecken. Will man darin sicher gehen, so

Digitized by Google

ist es freilich nöthig das Präparat zu zerzupfen oder zu drücken, denn wenn man von hinten auf eine ordnungsmässig erhaltene Stäbchenschicht blickt, findet man alle Zwischenräume ausser den Stäbchenquerschnitten dunkel, fast schwarz, ohne dass Pigment daran Schuld wäre, eine Erscheinung, welche von der Brechung des von vorn auffallenden Lichtes durch die Paraboloïde der Innenglieder zur Axe der Aussenglieder und dem Fernhalten alles übrigen Lichtes von den Stäbchenzwischenräumen durch Reflexion an den genannten Gebilden herrührt. Es ist gut, sich nach dem gleich zu beschreibenden Versuche, wenn das Präparat geopfert werden kann, von dem Fehlen des schwarzen Pigmentes zu überzeugen.

Wir legten 2 derartig reine Netzhäute im feuchten Raume so lange an die Sonne bis jede Spur gelber oder chamois Färbung daraus verschwunden war, hielten die eine weiter im diffusen, sehr gemässigten Tageslichte des Zimmers und brachten die andere in's Dunkle. Nach einer Stunde war die letztere leicht chamois, nach 2 und 3 Stunden deutlich rosa und blieb so noch 24 Stunden. Als wir die Präparate am andern Vormittage vertauschten, war der Erfolg wieder so, nur dauerte es etwas länger, bis die zweite Retina die Rosafarbe annahm, und diese war nicht ganz so intensiv, wie an der vorigen, an welcher das Licht sie jetzt wieder verwischt hatte. Da der Versuch mit jeder isolirt gebleichten Retina eintraf und der Tausch oft bis zum 3. Tage mit gleichem Erfolge zu wiederholen war, so wussten wir bereits mit leidlicher Sicherheit, dass es sich hier um etwas Anderes handele, als um die durch lebendes Epithel bewirkte und immer viel intensivere Regeneration in Gegenwart des letzteren. Wir wollen die Erscheinung daher als Autoregeneration bezeichnen, ohne damit bereits sagen zu wollen, dass nicht pigmentfreie Epithelreste, die zwischen den Stäbchen stecken können und dort schwer nachzuweisen wären, daran betheiligt seien. Dieselbe

Digitized by Google

Autoregeneration sahen wir auch, wenn die Retina nur bis zum Gelb ausgeblichen war; dann wurde sie im Dunkeln vorübergehend chamois, schliesslich rosa, und wenn wir sie im Lichte hatten chamois werden lassen, so schlug dies oft erst zurück in Gelbroth, ehe reines Rosa auftrat. Ganz entfärbte Retinae wurden in den ersten Stadien zuweilen deutlich rein gelb, dann chamois u. s. w.

Um zu sehen, ob sicherlich abgetödtete Netzhäute Autoregeneration besässen, brachten wir die Retina im Dunkeln während 24 Stunden in gesättigte Kochsalzlösung, wuschen sie in weiteren 24 Stunden in NaCl von 0,5 pCt. gründlich aus und legten sie gut abgetropft in's Licht, bis die schöne rosenrothe Farbe verschwunden war. So gelang der Versuch noch besser, insofern die Farben, Gelb, Chamois, Rosa, viel deutlicher nacheinander im Dunkeln auftraten, als an den ungesalzenen Präparaten. Wir können nicht entscheiden, ob dies von wirklich gesteigerter Regeneration oder von der besseren Sichtbarkeit der Farben auf der im Uebrigen viel weisslicher und undurchsichtiger gewordenen Membran herrührte. Das Vertauschen und öftere Wiederholen des Versuches glückte hier ebenfalls besser, wie im früheren.

Da wir jetzt wussten, dass es eine Regeneration des Sehpurpurs giebt, woran sich kein lebendes Gewebe betheiligt, und dass die erstgebildete Farbe Gelb, die letzte Purpur ist, schlossen wir, dass es neben dem Sehgelb und dem Sehweiss eine Substanz in der Netzhaut gebe, welche die Regeneration im Dunkeln bewirke. Liess sich dieses Rhodophylin, dem wir die Wirkung auf die Bleichungsproducte zuschrieben, der Membran entziehen?

Der letzte Versuch wurde so abgeändert, dass wir eine aus der gesättigten Salzlösung genommene Retina in der Sonne mit grösseren Mengen halbprocentiger NaCl-Lösung, also während der Entfärbung auswuschen. Diese in's Dunkle zurückgebracht, zeigte noch nach 24 Stunden keine Spur von Regeneration.

Digitized by Google

Wurde die Retina wie Anfangs im Dunkeln ausgewaschen und nachher in viel dünner Salzlösung gebleicht, so kehrte ebenfalls keine Farbe zurück. Die Salzlösung hatte also der gebleichten Retina etwas entzogen, das nothwendig war, um die Farbe wieder herzustellen, und wir mussten uns daher fragen, ob das Sehweiss oder das Rhodophylin extrahirt war. Die extrahirte Retina in den Focus der übervioletten Strahlen gehalten, fluorescirte ebenso intensiv weisslich grün, wie jede isolirt gebleichte, nicht gewaschene Netzhaut, woraus wir schlossen, dass nicht das Sehweiss, sondern das Rhodophylin in die Salzlösung übergegangen sei (vergl. Heft 2, S. 174). Wir blichen desshalb ein Dutzend pigmentfreier Salzretinae in einer sehr kleinen Menge verdünnter Salzlösung aus und filtrirten im Ganzen einige Tropfen einer etwas opalisirenden, schwach alkalischen Lösung ab. Einige Netzhäute wurden weiter vollkommen ausgewaschen, bis sie die Autoregeneration eingebüsst hatten. Diese mit dem Filtrate im Dunkeln begossen, färbten sich jedoch niemals wieder.

Die Autoregeneration gelang nicht nur in der $^1/_2$ p. Ct. NaCl haltenden, sondern auch in der gesättigten Lösung; nur dauerte die vollkommene Entfärbung bis zum Schwinden des Sehgelb in der Sonne mehr als eine Stunde, und es bedurfte mindestens 5—8 Stunden, um etwas Gelb, zuweilen eine Spur von Chamois wiederkehren zu sehen; Rosa trat niemals auf. Etwas besser glückte der Versuch in concentrirtem Glycerin, insofern wenigstens ein sehr schwacher rosa Anflug nach 24 Stunden zum Vorschein kam. In NH_3 und in Sodalösung war keine Wiederkehr der Farbe zu bemerken.

Da wir aus unseren Beobachtungen über Fluorescenz der Retina Unterschiede zwischen der lebend und der isolirt gebleichten Netzhaut kannten, deren Ursache wir in dem Fehlen des Sehweiss bei der ersteren vermutheten, schlossen wir, dass Netzhäute, welche intra vitam des Purpurs beraubt worden, der Autorege-

Digitized by Google

neration unfähig sein müssten. Um den Versuch anzustellen, hatten wir uns epithelfreie, gebleichte Netzhäute zu verschaffen, was auf dem bisherigen Wege durch Erwärmen der Frösche nicht ausführbar war. Wir fanden dazu ein sehr gutes Mittel, indem wir die schon einige Stunden im Freien belichteten Frösche mit Curare vergifteten und so feucht hielten, dass sie in weiteren 3 Stunden ödematös wurden; jetzt kam die Netzhaut trotz ununterbrochener Besonnung so gut und so pigmentfrei aus dem Bulbus, wie bei warm gehaltenen Dunkelfröschen. Sie war natürlich vollkommen farblos, aber sie blieb es auch in der Dunkelheit: es gab da keine Spur von Autoregeneration, und wenn wir sie noch mit NaCl behandelten, wie die isolirt belichteten, so änderte sich darin nichts. Einwände, die wir uns machten, dass das Curare-Oedem neue wesentliche Aenderungen im Auge erzeuge, glauben wir fallen lassen zu dürfen, denn die Regeneration verlief intra vitam im Dunkeln bei diesen Fröschen ebenso wie bei gesunden, ausserdem im exstirpirten Bulbus oder bei Berührung der Stäbchenschicht mit Epithel, ganz so, wie bei allen lebend entpurpurten.

Nach diesen Erfahrungen wussten wir mit Sicherheit, dass es eine Autoregeneration des Sehpurpurs gebe, welche als ein rein chemischer oder physikalischer Process aufzufassen sei, der von allgemeineren und darum unklaren Lebensvorgängen abgetrennt verlaufen kann; aber der vergebliche Versuch, Sehweiss und Rhodophylin erst zu trennen, dann wieder auf einander wirken zu lassen, liess uns zunächst nicht über diese erste Etappe hinauskommen.

Um auf die eingangs erwähnte Beobachtung über das langsamere Ausbleichen des unteren Theiles senkrecht hängender Netzhäute, welche zur Entdeckung der Autoregeneration führte, zurückzukommen, müssen wir bemerken, dass dieselbe augenscheinlich nicht damit zusammenhängt. Wir haben im Gegen-

Digitized by Google

theile gefunden, dass mit Salzlösung gründlich gespülte Retinae jene Erscheinung niemals zeigen, und schliessen daraus, dass dem gewöhnlichen Netzhautpräparate wirklich regenerirende Epithelreste oder kleine Mengen gelösten Rhodophylins anhaften, welche beim Aufhängen nach abwärts fliessen. So müssen wir schliesslich in dem in dieser Hinsicht gegensätzlichen Verhalten der von allen auswaschbaren Anhängseln befreiten Netzhäute einen starken Grund erkennen, die Autoregeneration einem Rhodophylin zuzuschreiben, das sich in den Stäbchen selbst befindet oder in sie vom Epithel her bereits eingedrungen ist.

Von der epithelialen Regeneration.

Wir wenden uns zur Regeneration mittelst des Epithels, die dem Einen von uns (Heft 1, S. 8) durch das sehr einfache Zurücklegen gebleichter Netzhäute auf den entblössten Epithelgrund gelungen war. Zur Vereinfachung der Darstellung soll hier zunächst ausschliesslich von der Regeneration isolirt gebleichter Netzhäute gehandelt werden.

Man überzeugt sich leicht, dass das Retinaepithel das einzige Gewebe ist, welches die Stäbchen wieder färbt: Einführung gebleichter Netzhäute in den Lymphsack des lebenden Frosches, Auflegen auf eine Schleimhaut, oder auf frische Muskelquerschnitte, Befeuchtung mit Blut oder Lymphe, Speichel, Harn, mit Humor aqueus oder dem Glaskörper haben darauf nicht den mindesten Einfluss, soweit nicht die Autoregeneration, die man kennen muss, dabei in Frage kommt; es ist dabei auch gleichgültig ob die Retina im Lichte nur gelb und chamois oder ob sie ganz farblos geworden ist. Wie auffällig dagegen die Wiederfärbung im Epithelgrunde zu jeder Zeit sein mag, hätten wir doch einige Kritik des Versuches lieber gesehen, als die stillschweigende Verwendung, die er bereits gefunden; wir können dem Leser darum eine Kritik, welche wir nachträglich selber daran übten, nicht ersparen.

Digitized by Google

Da die Stäbchen sehr häufig nicht sämmtlich mit der Retina aus dem Bulbus kommen, sondern ebenso gut am Epithel streckenweis hängen bleiben, wie dieses an jenen, so kann der Augengrund, in welchen die gebleichte Netzhaut zurückkehrt, noch purpurne Stäbchen enthalten, die mit der letzteren erst zum Vorschein kommen, wenn sie nach einiger Zeit zum zweiten Male herausgenommen wird. Dieser Fall ist gar nicht selten und ereignet sich, wenn die Netzhaut Pseudooptogramme trägt, (vergl. S. 232) immer. Wo das blosse Auge keine Pseudooptogramme erkennt, findet man solche in Gestalt falscher foveae centrales, in denen sich nur noch Zapfen finden, oft mikroskopisch, und da würde eine fleckige oder diffuse und schwache Scheinregeneration eintreten können nur durch Ankleben der zurückgebliebenen Stäbchen. Es war uns deshalb sehr erwünscht, den Versuch mit Fröschen vorzunehmen, deren Retina vollkommen ohne Verlust von Stäbchen zu Tage zu bringen war. Ueberaus sicher wird dies erreicht, wenn man ausser der vorhin erwähnten Erwärmung noch das Curare-Oedem an den Dunkelfröschen zu Hülfe nimmt, wobei selbstverständlich noch darauf zu achten bleibt, dass man das exstirpirte Auge gleich präparire, da trotz aller zum Lockern des Epithels von den Stäbchen angewendeten Mittel, das Haften im isolirten Bulbus sich nach einiger Zeit fast immer wieder einstellt. Wir haben uns viele Male überzeugt, dass auf solche Weise die Retina ohne jeglichen Verlust an Stäbchen hervorzubringen ist, indem wir sowohl den Augengrund, wie die Netzhaut sorgfältig mikroskopisch untersuchten. Zeigte die letztere nirgends nur mit Zapfen besetzte Stellen (wir reden ausschliesslich vom im Aequator halbirten Auge), so wurde auch kein einziges Stäbchen zwischen den nachher entleerten schwarzen Massen des Grundes gefunden, und wenn wir eine so vollkommen zur Ansicht gebrachte Netzhaut nach dem Zurücklegen an den alten Ort wieder ganz gleichmässig purpurfarben fanden, so glauben

Digitized by Google

wir unsern Einwand für widerlegt halten zu können. So weit es an dem wiedergefärbten Präparate auf umgeklappten Rändern zu constatiren war, fängt die Regeneration an den hinteren Enden der Stäbchen an und schreitet allmählich nach vorn vor. Ob die grünen Stäbchen mit regenerirt werden, ist uns deshalb zweifelhaft, weil an diesen die Autoregeneration schon sehr viel leistet. Dass auch die besterhaltene Retina nicht jedesmal in ihrer ganzen Ausdehnung gleichmässig wieder gefärbt wird, begreift sich, weil es nicht immer gelingt, sie vollkommen glatt in den Augengrund zurückzulegen, trotz aller und oft erfolgreicher Bemühung, sie ganz allmählich vom Rande her mit Vermeidung jeder Luftblase aufzulegen oder sich ansaugen zu lassen. Sehr vollkommen gelingt das Letztere aber, wenn man das Auge weit nach vorn öffnet, so dass die Iris gerade mit fortgenommen wird, und darauf die Netzhaut in toto, an der Linse, als kleines, den Glaskörper einschliessendes Beutelchen hervorzieht. In einigen Fällen, wo dies besonders vollkommen glückte, und wo allerdings auf die mikroskopische Untersuchung zu verzichten war, haben wir das Säckchen ganz unberührt, indem wir es weiter mittelst der Linse festhielten, erst an der Sonne entfärbt, dann in's Dunkle in den Bulbus zurück gebracht und darauf die schönste, vollkommen homogene, sehr intensive Regeneration erzielt.

Im Augengrunde konnte möglicher Weise noch etwas Anderes, als das Epithel den Purpur regeneriren: es war noch an die Chorioïdea, an die Sklera kaum zu denken. Doch haben wir nicht versäumt, die besonnte Netzhaut auch länger in entleerter Sklera liegen zu lassen, wobei indess nie etwas Anderes als die unvergleichlich schwächere Autoregeneration gesehen wurde. Um den Versuch nur auf der Chorioïdea in Abwesenheit allen Epithels anzustellen, verfuhren wir umgekehrt, wie bisher; wir hielten Dunkelfrösche einige Stunden in Eis und Wasser, wonach jede Netzhaut vollkommen mit dem Epithel bedeckt, tief schwarz aus

Digitized by Google

dem Auge, hervorkam, so dass der Grund ausschliesslich von der ganz undurchsichtigen Chorioïdea überzogen blieb. In diesen gelegte, entfärbte Retinae färbten sich ohne Frage etwas besser, als es die Autoregeneration vermag, aber wir glauben dies nicht der Chorioïdea zuschreiben zu sollen, sondern annehmen zu dürfen, dass das Epithel auch nach hinten etwas Rhodophylin abscheide oder zurücklasse. Wir konnten den Gegenversuch leicht machen, indem wir die zugehörige herausgenommene Retina mit der schwarzen Fläche auf die Stäbchenseite einer gebleichten legten, was denselben, wie bemerkt werden muss, selbst nach Stunden ungleich schwächeren Erfolg hatte, als nach dem Anlegen an die Vorderseite. Endlich haben wir die Retina von Eisfröschen benutzt, um daran den Einfluss des Pigmentepithels sowohl auf die Zeit der Bleichung, wie auf die Rückkehr des Sehpurpurs in der möglich vollkommensten Weise festzustellen.

Indem man ein solches Präparat mit der dunklen Rückseite gegen ein grosses Deckglas schmiegt und dasselbe hohl auflegt, erhält man für die mikroskopische Betrachtung das wahrhaft reizende Bild aller gefärbten Elemente der Retina. Hohe Einstellung zeigt zuerst den ungefärbten Theil der Epithelien, welche unter manchen, noch zu erörternden Umständen, mit glänzenden, farblosen Klümpchen eigenthümlicher, oft halbmondförmiger Gestalt gefüllt ist; darunter tauchen die goldfarbenen Fettkugeln auf, in jeder Zelle meist eine, und wenn man tiefer einstellt, erscheint das aus Sechsecken gebildete Muster der Epithelmosaik. Dieses Bild ist nicht so, wie es gewöhnlich von abgestorbenen Präparaten gezeichnet wird: es zeigt keine farblosen oder hellen Leisten zwischen den Zellen, sondern diese sämmtlich begrenzt durch schwarzes Pigment, so dass man nie sagen kann, wo die eine Zelle aufhört und die benachbarte beginnt, und es scheint uns dies von einem Pigmentkranze herzurühren, welcher sich etwas höher in der Zelle befindet, also weiter nach hinten im

Digitized by Google

Auge liegt, als die in die Zelle ragenden Kuppen der Stäbchen. Wird von diesem Bilde um ein Geringes tiefer eingestellt, so treten in voller Deutlichkeit die optischen Querschnitte sämmtlicher Stäbchen mit ihrer Purpurfarbe, hie und da modificirt durch die darüber liegenden goldgelben Kugeln, deren Bilder jetzt verwaschen sind, auf. Wir zählen meist 7 Stäbchen in jeder Pigmentzelle, darunter gewöhnlich ein grünes, das irgend wo am Rande zu liegen pflegt. Da der Sehpurpur an solchen Präparaten so deutlich durchschimmerte, haben wir nicht unterlassen, daran die Zeit der Bleichung durch Licht mit der von epithelfreien Netzhäuten zu vergleichen, die wir erwärmten Fröschen entnahmen. Beide Präparate verweilten nach der Anfertigung zur Annahme gleicher Temperatur erst einige Zeit im dunklen Raume und wurden darauf so unter 2 Mikroskope vor dieselbe Lichtquelle gebracht, dass die Beleuchtung ausschliesslich von unten durch die gleich grossen Diaphragmen geschah. In dem vom bewölkten Himmel mittelst des Heliostaten kommenden Lichte war der sichtbare Theil der epithelfreien Netzhaut meist um 10 Min. eher bis zum hellen Chamois entfärbt, als der des andern Präparates, von dem man erst in 11 bis 12 Min. sagen konnte, dass die Stäbchen sich nicht mehr weiter veränderten. Genauer vermochten wir die Zeit nicht zu bestimmen, da es unmöglich ist, durch das Epithel hindurch die letzten Spuren von Rhodopsin oder von Xanthopsin wahrzunehmen. Wir liessen die Präparate jetzt nach Entfernung der engen Diaphragmen bei dem nicht sehr intensiven Lichte noch 15 Min. liegen, schnitten eine Ecke des Epithel führenden ab, und überzeugten uns durch Abschaben des Präparates, dass kein Purpur mehr zum Vorschein kam. Als das Licht jetzt zwei Stunden fern gehalten worden, sah man durch das Epithel hindurch wieder deutlich purpurfarbene und grüne Stäbchenquerschnitte, während die andere Retina, unter dem Mikroskope wenigstens, nur sehr

Digitized by Google

trübe grüne, zwischen der grossen Menge hell lila aussehende zeigte. In anderen Fällen besahen wir die regenerirte Netzhaut nicht mikroskopisch und unverletzt, sondern nach dem Abschaben des Epithels von einigen Stellen, wonach der Purpur sehr deutlich zu erkennen war.

Der eben beschriebene Versuch beweist, wie wir hoffen unwiderleglich, dass es das Retinaepithel im Auge ist, welches den Sehpurpur der Stäbchen regenerirt. Wir wollen aber die Bemerkung nicht unterdrücken, dass die Regeneration bei diesem Verfahren nie so vollkommen glückt, d. h. dass die Stäbchenfärbung, obwohl unvergleichlich intensiver, als nach der Autoregeneration, niemals so tief wird, wie nach dem Wiederanlegen gegen das Epithel im Augengrunde. Zum Theil beruht dies wohl auf der Berührung der hinteren Epithelfläche mit dem Deckglase, denn die Regeneration schien besser zu werden und eher einzutreten, wenn wir die Präparate mit der Vorderseite gegen das Glas legten, was freilich genauere mikroskopische Untersuchung aus noch mitzutheilenden Gründen sehr erschwerte. Da die Berührung der Stäbchen mit dem Regenerator nach dem Abziehen des Epithels niemals wieder so wird, wie sie war, sollte man die Methode des Zurücklegens für die schlechtere halten, allein es scheint, dass das Herausnehmen und Entblössen der Rückfläche dem Epithel mehr schadet, als die Beraubung seiner vorderen Fortsätze von dem Stäbchenfilze. Das Zurücklegen zeigte sich endlich ausnahmslos früher, oft schon bis zum Maximum der Färbung, nach $^1/_2$ Stunde, wirksam, als die andere Methode.

Zahlreiche neuere Versuche bestätigten uns die früheren Angaben (Heft 1, S. 9), dass die Epithelregeneration durchaus an die ersten Stunden des Ueberlebens der Gewebe geknüpft ist. In hoher Sommertemperatur können die genannten Erscheinungen daher ganz ausbleiben und bei 8—12° C. wurde nach 24 Stunden kein Erfolg mehr erzielt. Wie konnten wir hoffen, dieses unerfreuliche

Digitized by Google

Factum mit der von den Gesammtlebensbedingungen ganz unabhängigen Autoregeneration in Uebereinstimmung zu bringen?

Zunächst wurde festzustellen gesucht, ob das Epithel oder die Retina überleben müsse. Wir fanden sogleich, dass es nur auf den Zustand des ersteren ankomme, denn als wir eine ausgebleichte und mehrere Tage feucht gehaltene trüb und matschig gewordene Netzhaut in einen frischen Epithelgrund legten, fanden wir dieselbe an den Stellen, wo sie noch zusammengeballte und stark veränderte Stäbchen trug, deutlich purpurn. Ebenso wurden Salzretinae, die im Dunkeln ausgewaschen, nach dem Abtropfen im Lichte entfärbt waren, unzweideutig besser gefärbt, als es jemals durch Autoregeneration geschieht, was durch vergleichende Versuche vollkommen sicher zu stellen war. Um jeden Zweifel zu heben sowohl, wie in anderweitigem Interesse, haben wir endlich Salzretinae, die während des Auswaschens gebleicht wurden und keine Autoregeneration mehr besassen, in lebende Epithelgründe gebracht: auch diese wurden wieder gefärbt. Getrocknete oder in Glycerin gelegte, später nach dem Erweichen in dünner Salzlösung und nach dem Abtropfen gebleichte Präparate so zu färben, wollte uns freilich nicht gelingen, aber die Erfahrungen an der gesalzenen Retina scheinen uns damit nicht entkräftet und der Schluss berechtigt, dass abgestorbene Netzhäute vom lebenden Epithel regenerirt werden.

So kamen wir zu folgender Ueberlegung: Der Regenerator enthält entweder Rhodophylin, wie die der Autogeneration fähigen Stäbchen, aber er giebt es nur im Leben oder im Ueberleben an die Letzteren ab, oder er enthält davon keinen merklichen Vorrath, sondern bildet es in dem Maasse, als die Substanz von der Stäbchenschicht beansprucht wird. Im letzteren Falle besonders konnte die Nothwendigkeit des Ueberlebens so viel heissen, wie Erhaltung eines Secretionsvorganges und Auslösung

Digitized by Google

desselben durch das Anlegen oder durch die Gegenwart der gebleichten Stäbchen.

Von der Regeneration des gelösten Sehpurpurs.

Zur Zeit, als dem Einen von uns die Freude wurde, den Sehpurpur in Lösung zu gewinnen, konnte Nichts näher liegen, als etwas gebleichte Purpurlösung in den frischen Augengrund zu tröpfeln und nachzusehen, ob die Farbe zurückkehre. Der Versuch geschah auch sogleich, aber man erhielt einen Tropfen schwarzer Tinte, weil das Epithel bis auf die suspendirt bleibenden gelben Kugeln und schwarzen Körnchen aufgelöst wurde. Das Verfahren wurde darauf mit grösseren Mengen und einer beträchtlichen Anzahl von Augengründen wiederholt, die Tinte filtrirt und durch mehrtägiges Stehen eine oben sehr pigmentarme Schicht abgehoben; aber dieselbe war und blieb missfarben, ebenso eine Mischung der Epithelcholatlösung mit der des gebleichten Purpurs, oder eine Lösung, die nur aus Netzhäuten, an denen das Epithel haftete, bereitet und durch Licht einmal gebleicht war. Auch das Einlegen gebleichter Netzhäute in die Epithellösung blieb erfolglos. Wir wissen heute, aus welchem Grunde jene Versuche sämmtlich missglückten und glauben kaum, dass wir die ausserordentlich zahlreichen und mühsamen Experimente, mit denen wir eine andere Bahn einschlugen, angestellt haben würden, wenn wir es eher gewusst hätten. Gleichwohl sehen wir keinen Grund, die Darstellung des wirklichen Verlaufes unserer Arbeit aufzugeben und von den genannten Bemühungen zu schweigen, denn wir können dieselben nicht für verloren halten, da die Betretung eines anderen Weges uns in den Besitz zahlreicher Gegenversuche brachte, welche die beste Kritik unseres schliesslichen Erfolges enthalten. Endlich hoffen wir Leser zu finden, denen es nicht gleichgiltig ist zu erfahren, wie man es anfing, in dem Gewirre anscheinend widersprechender und beziehungsloser Thatsachen den richtigen Weg zu finden.

Digitized by Google

Obschon sich die Galle als ein gutes Lösungsmittel für den Zellenleib der Epithelien erwies, liess sie doch zwei Bestandtheile derselben ungelöst: das Pigment und die gelben Tropfen. Ueber das Verhalten des Kerns kamen wir nicht ganz ins Klare: derselbe scheint nicht gelöst, sondern nur sehr durchsichtig zu werden und zu quellen; die häufig vorkommenden farblosen Klümpchen sahen wir dagegen unter dem Mikroskope völlig vergehen. Sollten wir dem schwarzen Pigmente und den gelben Tropfen das Rhodophylin zutrauen? Wir standen davon ab, denn das schwarze Pigment scheint zu indifferent und fehlt den Albinos, welche auch Purpur regeneriren, gänzlich, und die gelbe Materie fanden wir nirgends in der Retina der darauf untersuchten Säuger (Ochs, Schwein, Kaninchenalbinos). Ueberdies war jener gelbe Farbstoff schon ausgeschlossen, als wir sahen, dass Extracte der im Dunkeln über SH_2O_4 getrockneten Augengründe, die mit Alkohol, mit Aether, mit Chloroform, Benzol, Chlorkohlenstoff u. s. w. bereitet waren, nach dem Verdunsten die gelbe Substanz hinterliessen, welche mit dünner Salzlösung, oder mit Lymphe in Emulsion verwandelt, oder ohne dergleichen, direkt auf gebleichte Netzhäute oder in entfärbte Purpurlösung gebracht, niemals deren Färbung wieder herstellten. Wir kehrten darum noch einmal zur Galle zurück in der Meinung, dass das Rhodophylin nur unter ganz bestimmten weiteren Bedingungen wirke, und probirten die Cholat-Epithellösung mit reducirenden Zusätzen, von Schwefelammonium, Schwefelwasserstoff, ammoniakalischer Eisenoxydullösung u. s. w. oder umgekehrt, im Ozonstrome in Wirkung treten zu lassen, aber Alles ohne Erfolg. Darauf wurde versucht, das Epithel sogleich gefrieren zu lassen, oder eiskalt mit verdünntem NaCl von 0^0 zu extrahiren, ferner Extraktion bei gewöhnlicher Temperatur mit derselben Salzlösung, mit Glycerin, mit Soda, mit kohlensaurem Ammoniak oder mit Aetzammoniak, mit sehr verdünnter, Sehpurpur nicht entfärbender Milchsäure, oder Essig-

Digitized by Google

säure und Alles dieses wieder bei gleichzeitig wirkenden Oxydations- und Reductionsmitteln — wiederum vergeblich. In der Meinung, dass das Rhodophylin erst gebildet oder abgespalten werde, wurden die Epithelien mit kaltem Alkohol behandelt, und das Unlösliche den angegebenen Extractionsmitteln unterworfen, auch Erwärmen bis 35° C. angewendet, was ebenso erfolglos war, und obgleich wir wussten, dass der Regenerator ohne vorgängige Belichtung seine Schuldigkeit thut, wurden zu sämmtlichen aufgeführten Versuchen Augengründe aller Belichtungsstadien, auch mit farbigen Gläsern belichteter Frösche verwendet, ohne jedoch andere Resultate zu gewähren. Da wir glaubten, dass das Einlegen der Retina im Regenerationsversuche als Reiz auf das absondernde Epithel wirke, wurden die ganzen oder die von der Netzhaut befreiten Augen längerer Behandlung mit Inductionsströmen unterworfen, oder als mechanisches Reizmittel Schnitzel feinen Seidenpapiers 1—2 Stunden auf die Vorderfläche gelegt und, als dies noch nicht half, an Stelle des Papiers Stückchen der flimmernden Gaumenschleimhaut des Frosches genommen, womit wir die Epithelien sanft zu reizen und mit etwas dem Stäbchenfilze Aehnlichem zu bedecken trachteten. Wir brauchen kaum zu sagen, dass Nichts hiervon zu unserm Ziele führte, und wenn wir denken konnten, dass etwa die Dunkelheit, im Sinne der Beobachtungen *Brücke*'s an den Pigmentzellen der Chamäleonhaut, als Reiz für die retinalen Epithelzellen ausdrücklich heranzuziehen sei, so mussten wir davon abstehen, weil sich der grösste Theil unserer angeführten Erfahrungen schon auf im Dunkeln verarbeitetes Material bezog.

Nach so vielen vergeblichen Bemühungen stand wenigstens das eine negative Resultat fest, dass das Epithel unter keinem der äusserst verschiedenen Umstände, unter welchen es bearbeitet worden, eine in den für Gewebe gebräuchlichen Extractionsmitteln lösliche Substanz von rhodophylactischen Eigenschaften enthalte. Wir kehrten darum zu dem alten Mittel, der Galle, die am

Digitized by Google

Stäbchenpurpur gute Dienste geleistet hatte, zurück, in der Meinung, dass der Vorgang der Autoregeneration, den wir als unabhängig von allen übrigen Lebenserscheinungen erkannt hatten, unmöglich ein besonderes Substrat mit einer schlechthin unlöslichen Substanz zur Wirkung auf den sammt seinen Bleichungsprodukten löslichen Purpur erfordern könne. Schon einmal, ganz im Anfange dieser Arbeiten, war, um es hier zu sagen, eine im Dunkeln erfolgte Rückfärbung an gebleichten Purpurlösungen wirklich gesehen worden, und zwar an einer Mischung von Lösungen epithelarmer und epithelreicher Präparate. Da es aber während vieler Monate nie hatte gelingen wollen die Erscheinung wieder hervorzurufen, glaubten wir lange uns getäuscht zu haben, bis wir endlich, durch die Noth gedrängt, überdachten, welche anscheinend unwesentliche Aenderung sich in den Versuch eingeschlichen habe, und zu ihm zurückkehrten. Die Ueberzeugung, dass die künstliche Rückbildung des Sehpurpurs gelingen müsse, war zu tief, und erregte zu grosse Hoffnungen auf weitere Arbeiten über die Natur desselben, als dass wir nicht jede Modification des Lösungsverfahrens gern geprüft hätten.

So fiel uns ein, dass die in der wärmeren Jahreszeit benutzten Cholatlösungen des Epithels, wie der Stäbchen, immer Aether enthalten hatten, worunter wir die gereinigte Galle, um der Fäulniss einigermassen vorzubeugen, aufzuheben pflegten, und dass hieran der Grund unserer Misserfolge gelegen haben konnte. Es hatte zwar niemals das nicht unbedeutende Quantum Aether, welches die Galle auflöst, dem darin gleichzeitig enthaltenen Sehpurpur Schaden gethan, aber eine hemmende Wirkung auf den Regenerationsprozess war denkbar. Wir wurden darin bestärkt, als wir sahen, dass ein an der Luft gestandener, gefaulter Rest von Purpurlösung, den gebleicht zu haben wir uns erinnerten, eines Tages deutlich purpurn aus dem

Digitized by Google

Dunkelzimmer hervorgebracht wurde. Der Boden des Gefässes war mit schwarzem Pigment bedeckt, also Epithel mit in Lösung gegeben. Als die Flüssigkeit am Lichte wieder gebleicht worden, theilten wir sie in zwei Hälften und stellten die eine in's Dunkle, während die andere bis zum folgenden Mittag im Hellen blieb. Jetzt war eine, wenn auch schwache, röthliche Färbung an der ersteren augenfällig. Dass die Fäulniss nichts zu der erfreulichen Erscheinung beigetragen, glaubten wir annehmen zu dürfen, weil wir zu oft gebleichte Purpurlösung oder Netzhäute mit Epithelmassen in geschlossenen Gefässen hatten faulen sehen, ohne Rückkehr des Purpurs.

Wir schlossen daher, dass die Verdunstung des Aethers uns begünstigt habe, und verwendeten in der Folge nur Galle, welche vor dem Gebrauche durch Kochen von Aether befreit war, zugleich ein kaum schlechteres Fäulniss verzögerndes Verfahren, als der frühere Zusatz. Beiläufig mag hierzu bemerkt werden, dass vor dem Gebrauche des Aethers bei Darstellung und Reactionen des Sehpurpurs ebenso zu warnen ist, wie bei vielen anderen empfindlichen chemischen Substanzen, da das käufliche Fabrikat selten rein ist. Auch das schlechteste, alkoholhaltige schadet freilich nicht, soweit es in Galle löslich ist, aber wir sind in letzterer Zeit immer auf Aether gestossen, welcher feuchte Froschnetzhäute momentan, fast getrocknete etwas langsamer entfärbte und nach dem Waschen mit Wasser, besser mit Sodalösung, Zersetzung des Purpurs, obgleich erst nach einigen Stunden, bewirkte. In der Chemie des Sehpurpurs haben wir den Aether darum seit länger durch Benzol oder durch sog. Petroleumäther ersetzt.

Mit den neuen, auch dosirten Gallelösungen haben wir zunächst die angenehme Erfahrung gemacht, direkt ohne nachträgliches Eindunsten sehr concentrirte, fast wie ammoniakalische Carminlösung aussehende Filtrate von der Retina zn gewinnen, wenn

Digitized by Google

die Lösung mehr als 5 p. Ct. Cholate enthielt; weiter lernten wir die Purpurlösung schneller filtriren, indem wir die winzigen unlöslichen Reste der Membran sich erst vollkommen absetzen liessen, worauf die Flüssigkeit kaum schlechter als Wasser durch Papier lief. An diesen Lösungen wurde nun sofort die von der Retina bekannte Autoregeneration beobachtet. Wir brauchten dieselben nur in der Sonne bis zur vollkommenen Farblosigkeit ausbleichen zu lassen und 40 Min. bis 1 Stunde in's Dunkle zu stellen, um sie wieder ganz deutlich rosa gefärbt zu finden. In weiteren 24 Stunden blieb diese Farbe im Dunkeln constant. Zwei bis drei mal liess sich die Entfärbung an der Sonne wiederholen und immer kehrte die Farbe zurück, aber schwächer und schwächer, zuletzt nur chamois oder gelb. Ganz wie an der Retina trat in 20—30 Min. zuerst Gelb, darauf Chamois, zuletzt Rosa auf, und wenn wir die Ausbleichung nur bis zum Gelb hatten gehen lassen, kehrte das Rosa schneller zurück. Das Experiment ist von solcher Sicherheit, dass wir es zur Demonstration in Vorlesungen geeignet halten. Die Cholatlösung wird dazu am Besten 2 procentig genommen.

Seit wir ätherfreie Purpurlösungen verwenden, hat es uns scheinen wollen, als ob deren totale Ausbleichung, d. h. die schliessliche Umwandlung von Gelb zu Weiss, auch in direktem Sonnenlichte wesentlich langsamer verlaufe, als wir es früher an ätherhaltigen sahen.

Welchen Grund konnte die Autoregeneration in der Lösung sowohl, wie in den Stäbchen haben? Gehörte der Purpur zu der Classe von Farbstoffen, die auf Zeuge fixirt, beim Tragen verschiessen und nach längerer Schonung aus dunklen Schränken gebessert zum Vorschein kommen? Die letztere Thatsache dürfte ebenso allgemein bekannt, wie wenig aufgeklärt sein, auf Reductions- und Oxydationsprocesse schliessen lassen, aber von solchen wussten wir, dass sie über den Sehpurpur nichts ver-

Digitized by Google

mögen. Ausserdem liess sich die Regeneration nicht beliebig oft wiederholen; Was dabei mitwirkte, wurde ersichtlich nach und nach erschöpft, und das hing nicht von der Dauer der Beleuchtung, sondern von dem Wiederholen des Lichtabschlusses ab, für das lebende Auge zugleich ein bemerkenswerther Umstand, welcher die Annahme abweist, dass die Echtheit des Netzhautpurpurs intra vitam auf anderen Gründen beruhe, als auf der bis zu einem gewissen Grade der Dauer und Intensität des Belichtens, dem Bleichen entgegenarbeitenden Regeneration. Wir hielten darum an der Meinung, welche wir dem fundamentalen Einflusse des Epithels einmal entnommen hatten, fest, dass neben dem Purpur, bez. dem Sehgelb und Schweiss eine Substanz, das Rhodophylin, in oder zwischen den Stäbchen und ebenso in der Cholatlösung der Netzhaut enthalten sei, welche die Regeneration veranlasse, dass also im strengeren Sinne keine Autoregeneration bestehe. Hier musste die Epithellösung entscheiden. Wir kürzten den dazu in Aussicht genommenen Versuch, dessen Schwierigkeiten nachher erörtert werden, zunächst in folgender Weise ab.

20 Frösche wurden geköpft, die Augen exstirpirt, eine Stunde nach der Präparation des letzten gewartet und aus allen die Netzhäute mit dem gesammten Epithel bedeckt herausgenommen. Indem wir das schwarze Häufchen mit Galle behandelten, bekamen wir eine Lösung der Stäbchen sowohl, wie der Epithelleiber. Als dieselbe schwarz und trübe durch das Filter gegangen, liessen wir sie im Röhrchen einige Stunden stehen, hoben vom stärksten Pigmentsatze ab und suchten den noch recht bedeutenden Antheil an suspendirten schwarzen Körnchen im flachen Uhrglase zu beseitigen. Wer sich auf das Isoliren und Schlemmen von Blutkörperchen versteht, kennt das Verfahren: wir suchten das Pigment durch Rütteln, Drehen und Schwenken zusammenzutreiben, so dass es nach längerer Ruhe

Digitized by Google

auf einen Haufen gedrängt zu Boden ging. So war 24 Stunden später die klare Flüssigkeit abzusaugen. Dieselbe war natürlich tief purpurfarben, aber wir glaubten daran bemerken zu können, dass sie, an gedämpftem Lichte wenigstens, nicht so rasch entfärbt wurde, als andere ebenso intensiv gefärbte Lösungen, die wir aus epithelfreien Netzhäuten erhalten hatten. Etwas Anderes war aber zweifellos: die Lösung wurde nach maximaler Ausbleichung in weniger als 15 Min. im Dunkeln wieder farbig und war nach einer Stunde deutlich rosenroth. Da grade vortrefflicher Sonnenschein den ganzen Tag begünstigte, haben wir das Bleichen und Wiederfärben mehrere Male vorgenommen und am folgenden Tage wiederholt. Dabei fiel uns auf, dass anfänglich kein deutlich gelbes Durchgangsstadium vor dem ersten Erscheinen des Rosa zu bemerken war, obwohl sich die Purpurfärbung, ebenso wie es früher bei der Autoregeneration gesehen worden, entschieden schneller im Dunkeln wieder entwickelte, wenn die Ausbleichung nur bis zum Gelb gediehen war. Erst beim 2ten Male wurde dieses regenerirte Gelb deutlich und kehrte schliesslich allein nach der Bleichung wieder zurück, wie denn überhaupt die Intensität der regenerirten Farbe mit jedem Versuche abnahm und die Zeit ihrer Entwicklung wuchs.

Wir glaubten nun den letzten Versuch des Wiederfärbens gebleichter Stäbchenlösung durch Zusetzen reiner Epithellösung leicht hinzufügen zu können, aber hier stiessen wir auf zwar nicht unerwartete, indess für unsere nächsten Zwecke wenig wünschenswerthe Hindernisse. Es war nicht möglich das Epithelium, nach Entfernung der Retina aus dem Auge, hinlänglich rein zu erhalten. Lag es zu Tage und der Chorioïdea an, so war es nicht ohne diese zu verarbeiten. Alle Anstrengungen es mit feinen Hakenpincetten abzuziehen oder es mit angelegtem Seidenpapier abzuheben, lieferten kein hinreichendes Material, und so blieb nichts übrig, als die ganzen Augengründe, nach mög-

Digitized by Google

lichster Säuberung der Rückseiten von Muskeln und Bindegewebe, zu verarbeiten. Die Chorioïdea mit dem Epithel von der Sklera zu lösen, hatte keinen besonderen Sinn und war wegen des durch Gefässe vermittelten Haftens unbequem. Das so erhaltene Präparat hatte den Nachtheil Blut einzuschliessen, so dass die daraus hergestellte Cholatlösung immer etwas Hämoglobin enthielt. Froschblutkörperchen widerstehen der Galle zwar anders, als die der Säuger, aber das Hämoglobin wird ihnen damit doch entzogen und musste in unsere Lösungen übergehen, weil der Brei der zerschnittenen Augengründe überall freie Blutkörperchen aufwies. Dennoch waren wir sehr überrascht die Lösung nach Entfernung des schwarzen Pigmentes ziemlich tief und dabei etwas purpurn gefärbt zu finden, noch mehr, als wir sie an der Sonne augenscheinlich abblassen sahen, ungefähr wie wenn wir bluthaltige Stäbchenlösung (aus dem Ochsenauge) vor uns hätten. Die Entfärbung dauerte freilich bedeutend länger und ging nur so weit, das schmutzige Blutgrün hervortreten zu lassen, das venösen Blutlösungen in grosser Verdünnung eigen ist*). Mit Luft geschüttelt, wurde die Farbe hellgelblichroth und dann sahen wir daran spectroskopisch den Streifen α des Hämoglobins entstehen. In's Dunkle zurückgebracht, wurde sie in 30 Min. wieder hell kirschfarben, um dann am Lichte von Neuem in's Grünliche zurückzuschlagen, kurz, die Erscheinungen waren ähnlich wie an Stäbchenlösungen mit epithelialer Regeneration, so dass wir denken mussten, wider unsere Absicht sehr viele Stäbchen auf dem Epithel gelassen zu haben.

*) Es ist leider heute noch nöthig auf *Brücke*'s bekannte Beobachtung der grünen Färbung dünner Schichten venösen Blutes aufmerksam zu machen, da die Erscheinung mit dem Sehpurpur in Verbindung gebracht worden ist. Quetscht man Froschnetzhäute, deren Hyaloïdea merklich Blut enthält, besser noch die Retina des Hundes zwischen zwei Glasplatten, so wird die schwach grünliche Färbung des Blutes bemerkbar, während blutfreie Retinae dabei nur lila bis farblos werden.

Digitized by Google

Wir wiederholten daher den Versuch sofort und nahmen dazu so gründlich ödematös gewordene Curare-Frösche, dass die Netzhaut von allen in toto mit der Linse herauskam. Nachdem die Hintergründe mit der Scheere zerschnitten waren, nahmen wir Tröpfchen aus dem Brei unter das Mikroskop; wir fanden in der That einzelne Stäbchen, jedoch so wenige, dass wir glaubten, die Purpurfärbung der Lösung etwas Anderem, als der kleinen Menge in diesen Stäbchen enthaltenen Sehpurpurs zuschreiben zu müssen, wenn sich die frühere Erscheinung wiederholte. Das Letztere geschah nun auf das Unzweideutigste und gab uns die Ueberzeugung, dass im Epithel selbst unter Umständen Purpurbildung vorkomme.

Wie gering der Hämoglobingehalt der auf dem letzten Wege erhaltenen Epithellösung sein mochte, war er doch gross genug uns gegen die Wahrnehmung der feinen Farbendifferenzen, auf die es ankam, misstrauisch zu machen, wenn wir damit etwaige Verstärkung der Regeneration reiner Stäbchenlösungen nachweisen wollten. Wir wiederholten daher vorerst die früheren Beobachtungen über das Verhalten von Epithel-Stäbchenlösungen vergleichend zu dem reiner Stäbchenextrakte. Diesmal wurden dazu 20 Dunkelfrösche genommen, welche 3 Stunden in Eiswasser gesessen hatten, und die schwarzen auf das vollkommenste vom Epithel bekleideten Netzhäute in Lösung gegeben. Zum Vergleiche wurden die sehr reinen, vom vorigen Versuche übrig gebliebenen Netzhäute verwendet. Beide Präparate wurden mit 1,5 C. Cent. derselben Cholatlösung gleich lange extrahirt, filtrirt, die schwarze Lösung im Uhrglase von Pigment befreit und während dieser Zeit in so feuchtem Raume gehalten, dass Concentration durch Verdunsten vermieden blieb. Die Färbung der beiden Flüssigkeiten war ungleich, in der gemischten entschieden tiefer. Es wurden daher durch Verdünnen der letzteren 2 Proben von annähernd gleicher Farbensättigung hergestellt, beide

Digitized by Google

gleich lange an der Sonne bis zu blassem Strohgelb gebleicht und in's Dunkle zurückgesetzt. Nach 20 Min. war die Mischlösung schön rosa, während die andere nur deutlicher gelb bis chamois aussah, nach 40 Minuten waren beide rosa, aber die erstere dunkler, mehr rosenroth, nach 4 Stunden diese rothpurpurn, die andere nicht über das anfängliche Rosa hinausgekommen. Am folgenden Tage wurde das Belichten und Verdunkeln fortgesetzt und es zeigte sich, dass die Rückkehr der Farben in der Mischlösung noch viele Male, freilich mit abnehmender Deutlichkeit auszuführen war, als die andere bereits ganz farblos blieb, oder nach längerer Lichtentziehung höchstens schwach strohgelb wurde. Hierauf gossen wir 1 Vol. der nur noch hellrosa werdenden Mischlösung zu 2 Vol. der nicht mehr autoregenerationsfähigen Stäbchenlösung, belichteten das Ganze noch einmal und setzten es in's Dunkle zurück. Da Abends nicht mehr über die Farbe zu entscheiden war, konnten wir erst am andern Morgen nachsehen und da fanden wir trotz doppelter Verdünnung, welche die letztere Lösung erlitten hatte, die schönste rosenrothe Farbe hergestellt, über deren Entstehungsweise wir nicht in Zweifel sein konnten, weil wir sie zwischen 2 Gegenproben hatten, der einen, kaum gelblichen (aus der Stäbchenlösung), und der andern hell rosafarbenen (aus der Lösung von Epithel Stäbchen), welche beide unter gleichen Verhältnissen neben der nachträglich gemischten im Dunkeln gestanden hatten.

Wie befriedigend und entscheidend das eben genannte Resultat sein mochte, so glaubten wir doch keine Mühe scheuen zu sollen, die Wiederfärbung von Stäbchenlösungen durch reine stäbchenfreie Auflösungen des Epithels zu versuchen und die Darstellung der letzteren frei von störendem Hämoglobin anzustreben. Epithelgründe wurden zu dem Ende erst mit grösseren Mengen $^1/_2$-procentiger NaCl-Lösung geschüttelt, filtrirt, auf dem Filter mit etwas Wasser gewaschen, wobei Hämoglobin nachweisbar mit einigem schwarzen

Digitized by Google

Pigment entfernt wurde. Hierauf mit Galle behandelt, wurden offenbar wesentliche Antheile der Zellenleiber zerstört, denn was nun weiter filtrirte, war die uns wohl bekannte schwarze Tinte. Als dieselbe geklärt worden, sahen wir daran zu unserer Enttäuschung wieder etwas Hämoglobinfärbung und nichts im Verhalten gegen Licht, was auf den kleinsten Purpurgehalt zu schliessen berechtigte. Zu gebleichten Purpurlösungen gesetzt, verstärkte das Extrakt deren Autoregeneration nicht, und wo diese nicht mehr vorhanden oder undeutlich war, änderte der Zusatz daran nichts. Das Verfahren musste also verlassen werden und wir versuchten darauf so zum Ziele zu kommen, dass wir die Galle in die retinafreien Augengründe tröpfelten, nach $^1/_4$ Stunde zurückpipettirten und die kleine Flüssigkeitsmenge, welche so oberflächlich auf die Epithelfläche gewirkt hatte, dass sie auffällig wenig schwarzes Pigment enthielt, der mechanischen Klärung unterzogen. Was wir jetzt erhielten, war äusserst schwach gelblich gefärbt und ebenso wirkungslos auf gebleichte Stäbchenlösungen, wie das vorige Extrakt.

Da unser Vorhaben somit vereitelt blieb, haben wir die andere Methode der Vergleichung von Lösungen reiner Stäbchen und solcher aus Stäbchen plus Epithel weiter auszubilden gesucht. Indem wir den natürlichen Vorgängen folgten und uns der Erfahrung anschlossen, dass die Regeneration der Netzhaut an der Epithelplatte immer einige Zeit, bis zur Vollendung oft etwa 2 Stunden erfordert, gaben wir die epithelbedeckten Netzhäute erst einige Stunden nach der Präparation in Lösung. Die beste Vorschrift, welche wir geben können, ist diese: man verschafft sich 1) 40 epithelfreie Netzhäute, indem man 20 mit Curare vergiftete Dunkelfrösche erst 3 Stunden in kaltes Wasser, dann 2 Stunden in Wasser von 30° C. setzt und die Präparation der Augen bei jedem Einzelnen sofort nach dem Köpfen vornimmt; 2) setzt man 20 Dunkelfrösche eine Stunde in Eis, exstirpirt die Augen,

Digitized by Google

knipst von jedem den Opticusansatz ab, legt sie eine Stunde in einen feuchten Raum und nimmt hierauf die Netzhäute sammt dem Epithel von der Chorioïdea ab. Diese schwarzen Präparate lässt man zweckmässig noch 2 Stunden auf dem Boden eines kurzen Probirröhrchens liegen, ehe die 2procentige Galle aufgegossen wird. Nach weiteren zwei Stunden, während deren die Masse zuweilen geschwenkt wird, ohne eigentlich geschüttelt zu werden, filtrirt man und benutzt die Nacht zum Absetzenlassen des schwarzen Pigmentes im Uhrglase. Am andern Morgen findet man, nachdem auch die Stäbchenlösung hergestellt und filtrirt worden, zwei starkgefärbte Flüssigkeiten, von welchen die des gemischten Objectes die dunklere ist. Vergleicht man das Verhalten der Extrakte, so ist ohne Weiteres das langsamere Ausbleichen des gemischten in mässigem Tageslichte zu erkennen, auch wenn man es durch Verdünnen mit Galle auf die hellere Farbe des andern gebracht hat. Vollständig an der Sonne oder von der Magnesiumflamme ausgebleicht, nimmt es viel eher im Dunkeln wieder Farbe an, als das andere, und gleich zu Anfang ist diese tiefer, mehr dem Purpur oder Rosa zuneigend, als in der Gegenprobe, eine Differenz, welche nach einigen Stunden höchst augenscheinlich wird. Je öfter die Regeneration wiederholt wird, was noch nach 3 — 4 Tagen trotz in der Regel zutretender Fäulniss möglich ist, desto schwächer wird sie natürlich; aber während die blosse Stäbchenlösung beim 3ten Male zu versagen pflegt, haben wir sie an der andern bis doppelt so oft bemerkbar gefunden, und endlich wieder mit grosser Deutlichkeit hervortreten sehen, wenn die im Dunkeln schon gänzlich farblos bleibende Stäbchenlösung zugesetzt wurde. So sind die Erscheinungen, wenn das Epithel einige Zeit nach der Isolation und Eröffnung der Bulbi in Lösung kam, während man die Differenzen, auf welche hier Gewicht zu legen ist, kaum merkbar findet, falls die schwarzen Netzhäute aus eben exstirpirten Augen von

Digitized by Google

Eisfröschen kamen und sofort in Galle geworfen wurden. Wir möchten hieraus schliessen, dass das retinale Epithelium bei Dunkelfröschen im Leben nur Spuren von Rhodophylin enthält, dagegen im Absterben oder in einem der Reizung verwandten Zustande davon mehr bildet, das dann durch Galle extrahirbar wird. Jetzt, wo man in der letzteren das Mittel dafür hat, werden die vorhin erwähnten Reizversuche zu wiederholen sein. Wir haben einstweilen darauf verzichtet, da uns die gleich zu berichtenden Beobachtungen z. Zt. nothwendiger schienen und einige Aussicht vorhanden ist auf müheloserem Wege zur künstlichen Regeneration zu gelangen, als der war, welchen wir betreten mussten.

Die Fluorescenzerscheinungen hatten uns zur Erkenntniss eines wesentlichen Unterschiedes zwischen isolirt und intra vitam gebleichten Netzhäuten geführt (Heft 2. S. 174), welcher nach unserer Auffassung durch Abwesenheit des Schweiss' in den letzteren bedingt wird. War das richtig, so mussten im Leben entfärbte Netzhäute mit Galle farblose Auflösungen geben, in welchen weder Autoregeneration, wie an den Stäbchen selbst, noch Regeneration durch Dunkelepithel zu Stande kam. Dem ist nun wirklich so, denn die Lösung, welche wir aus solchen Netzhäuten von mit Curare ödematös gemachten Fröschen erhielten, war und blieb unter allen Umständen farblos und es liess sich damit nach 24-stündigem Verweilen im Dunkeln nicht die geringste Besserung der Färbung an einer anderen Lösung des früher beschriebenen Epithel-Stäbchenpräparates erzeugen, wenn diese an sich schon durch häufigen Wechsel von Licht und Dunkelheit das Vermögen deutlicher Wiederfärbung verloren hatte. Hier war Rhodophylin vorhanden, aber es fehlte in dem aus lebend gebleichten Netzhäuten zugeführten Materiale die Substanz, das Schweiss nämlich, auf welche es wirken sollte, und in vollkommener Uebereinstimmung damit stand das Verhalten der Stäbchen solcher Netzhäute, denn wenn wir intra vitam gebleichte

Digitized by Google

Retinae in Epithelgründe von Dunkelfröschen legten, so sahen wir sie häufig entweder gar keine Färbung annehmen, oder erst nach 2—4 Stunden Spuren davon auftreten, welche bezeichnender Weise nicht gelb oder chamois, sondern hell lila ausfielen.

Hiermit gelangen wir zu einem Punkte, welcher besondere Beachtung verdient: es giebt zwei ganz verschiedene Weisen der Wiederfärbung von Netzhäuten, die eine mit Gelb oder dessen Nuancen beginnend, oft durch Orange oder entschiedenes Reinroth zum Purpur gelangend, die andere von vornherein mit blossen Verdünnungsgraden des Purpurs einsetzend, von Lila durch Rosa zu tiefem Purpur führend; die erstere ist der isolirt gebleichten oder intra vitam nur erblassten, nicht ganz entfärbten Netzhaut, die zweite der intra vitam vollkommen entfärbten eigenthümlich. Obschon es leicht ist die erste, niemals gelbliche, sondern stets lila aussehende Farbe an Fröschen zu erkennen, welche nach gründlicher Besonnung 20 — 30 Min. im Dunkeln verweilten, wird die Angabe eines Mittels willkommen sein, das die Beobachtung der Anfangsfarben ungemein erleichtert. Die Zeit der Regeneration ist nämlich abhängig von der Temperatur, so dass sie sich im heissen Sommer oft schon in einer Stunde, bei kühlerer Witterung erst in 2 — 3 Stunden, bei 0° erst in 9—12 Stunden vollendet. An Eisfröschen hat man darum 4 bis 6 Stunden Zeit, um die Lilafärbung der Netzhaut zu constatiren, welche dem herrlichen Rosa und dem letzten gesättigten Purpur vorangeht.

Welchen Grund konnte es für die oben genannte Differenz geben? Wir meinen, dass er in der Verschiedenheit des Bildungsprocesses der Farbe liege, dass in der isolirt gebleichten Netzhaut aller Purpur nach und nach aus den restirenden Bleichungsproducten gebildet werde, indem das Rhodophylin das Sehweiss erst in Sehgelb, dieses zuletzt in Sehpurpur verwandelt, während nach dem Schwunde des Sehweiss im Leben fertiges Rhodophylin aus den Epithelzellen in die Stäbchen tritt, der Art, dass Misch-

Digitized by Google

farben intra vitam überhaupt nur auftreten können, wenn entweder die Belichtung sie direkt erzeugte, oder wenn das Sehweiss noch nicht Zeit fand völlig aus den Stäbchen zu schwinden. Wir hielten diese Hypothese für richtig, wenn eine Bildung fertigen Sehpurpurs in den Epithelzellen nachzuweisen war.

Das einzige Object, an welchem der fragliche Purpurgehalt mikroskopisch nachweisbar wäre, dürfte das retinale Epithel albinotischer Thiere oder des Tapetums sein, dessen Zellen kein schwarzes Pigment enthalten, aber man kann es auch da nicht vorauswissen, ob sich jemals unter den geeigneten Bedingungen so viel Purpur ansammeln werde, dass man ihn in situ zu erkennen vermöchte. Am Epithel der Frösche glauben wir unter gewissen, sich aus dem Folgenden noch ergebenden Umständen, Andeutungen des Epithelpurpurs bemerken zu können und zwar in den der Stäbchenschicht zugewendeten, mit Fortsätzen versehenen, vorderen Theilen der Zellen. Indess erschwert das schwarze Pigment die Beobachtung so, dass wir von Niemanden verlangen dürfen auf den schwach röthlichen Anflug Werth zu legen, um den es sich da handelt. Glücklicher Weise lässt sich auf andere, vollkommen sichere Weise darthun, dass das Epithelium fertigen Purpur zu bilden vermag, denn wir haben ihn daraus dargestellt.

Andeutungen über Rhodogenese sogar im Dunkelepithel wurden bereits früher bemerkt (vergl. S. 270), und indem wir an jene anknüpften, fanden wir einen sehr einfachen Weg den Process im Epithel nachzuweisen. Wir setzten Frösche eine Stunde hinaus in die Sonne, vergifteten sie darauf mit Curare, liessen sie weiter 3 Stunden im Freien erst in kaltem, dann in 30° C. warmem Wasser liegen, so dass sie anschwollen, und entfernten im Hellen*) aus sämmtlichen Augen die Netzhaut, indem wir die-

*) Bei dieser und wenigen anderen Gelegenheiten konnte von der Nothwendigkeit alle Arbeiten über Sehpurpur im Natronlichte vorzunehmen, abge-

Digitized by Google

selbe in toto mit der Linse und dem Glaskörper hervorzogen. Hierauf wurden die schwarzen spiegelnden Augengründe vorsichtig mit halbprocentiger Kochsalzlösung betropft, etwas geschüttelt und ausgespült, um etwa zurückgebliebene von der Netzhaut abgerissene Stäbchen zu entfernen, und ein Theil der Augen sogleich, ein anderer erst nach 3stündigem Verweilen im Dunkeln mit Galle extrahirt. Dass keine in Betracht kommende Mengen von Stäbchen in den Augen zurückgeblieben waren, constatirten wir vor der Verwendung der Galle, indem wir etwas von dem beim Zerschneiden der Halbkugeln entstehenden schwarzen Brei mikroskopisch untersuchten und nur sehr wenigen Bruchstücken veränderter Stäbchen begegneten. Als die Gallelösungen filtrirt und durch Absetzen vom schwarzen Pigmente befreit waren,

---

sehen werden. Es dürfte von Nutzen sein zu bemerken, dass Gas- oder Kerzenlicht, selbst sehr gedämpftes Tageslicht im Nothfalle zwar aushelfen können, aber so häufig zu Unsicherheiten führen, dass man sich nachträglich zu Controlversuchen bei Natronlicht genöthigt sieht, wodurch die ohnehin aussergewöhnliche Mühe solcher Arbeiten unnöthig vermehrt wird. Rothes Licht wäre ohne Frage besser als gelbes, da es noch weniger auf Sehpurpur wirkt, und wir haben es darum öfter mit Hilfe vortrefflich gearbeiteter, durch rothes Glas oder rothe Flüssigkeiten lichtgebender Laternen verwendet, wenn unsere Augen an der flackernden Natronflamme den Dienst versagten. Dennoch musste im Allgemeinen zu dem abscheulichen gelben Lichte zurückgekehrt werden, weil man im rothen des Vortheils entbehrte, das Blut unterscheiden zu können, so dass Präparate, die im Natronlichte wie von Tinte beschmutzt aussahen, für gut passirten. Es versteht sich von selbst, dass man von der Natronbeleuchtung so wenig, wie aus dem Dunkelzimmer überhaupt, unmittelbar zur Beurtheilung von Farben im Tageslichte schreitet, sondern zu warten hat, bis das Auge ausgeruht ist und keine Contrastfarben mehr wahrnimmt. Das Object wird so lange in einem schwarzen Kästchen verwahrt. Glaubt man die Zeit der Augenruhe aus Furcht vor Veränderungen der Präparate durch Absterben oder, wie es vorkommen kann, durch schnell wirkende chemische Agentien, nicht abwarten zu dürfen, so muss man zu Zweien arbeiten und sich die Präparate aus dem Dunkelraume bringen lassen. Alle in diesen Abhandlungen mitgetheilte Feststellungen über Farbennuancen wurden unter Beachtung der genannten Cautelen ausgeführt.

Digitized by Google

zeigte die sogleich hergestellte und verarbeitete, geringe schmutzig grünliche, vom Blute herrührende Färbung, welche, an einer im Dunkeln bleibenden Gegenprobe controlirt, nach längerer Besonnung durchaus unverändert blieb, während die andere so rosenroth war, wie wir bisher nur Stäbchenlösungen gesehen hatten, und am Lichte in der evidentesten Weise bis auf die geringe vom Blute stammende Färbung ausblich. Nach 4-stündiger Verdunkelung war daran auch etwas Regeneration zu bemerken. Wir sind durch diesen mehrfach wiederholten Versuch vollkommen überzeugt, dass in den Epithelzellen Alles enthalten ist, was zur Bildung fertigen Sehpurpurs beisammen sein muss. Ob diese Bildung im Leben wirklich in den Zellen erfolgt, lassen wir bei der Unsicherheit der bisherigen Beobachtungen über Färbungen des Epithels unentschieden, was übrigens zunächst an der Bedeutung des gefundenen Factums wenig ändert, da man die Rhodogenese auch für den Moment des Ueberganges der daran betheiligten Substanzen zu den Stäbchen aufgespart denken kann. Die Wirkung der Galle in den beschriebenen Versuchen wäre dann so aufzufassen, dass unter ihrem lösenden Einflusse, welcher sicher alle wesentlichen Substanzen betrifft, Dinge auf einander in Wirkung gerathen, welche es im Zellenleibe nicht thaten, weil sie dort räumlich getrennt waren. Hierüber wird die Zukunft ebenso erst entscheiden können, wie über die Frage, woraus das Epithelium lebend entpurpurter Frösche den Purpur bereitet; wir zweifeln kaum, dass es aus altem Materiale geschieht, indem das Sehweiss im Leben wohl nur desshalb aus den Stäbchen schwindet, weil es in das Epithel nach hinten tritt.

Es dürfte hier am Platze sein einiger Erfahrungen über Regeneration des Sehpurpurs in den Stäbchen zu gedenken. Vergegenwärtigt man sich, was beim Sehen gemischten Lichtes vorgeht, so begreift man, dass die der Länge des Stäbchens entsprechende Purpurschicht zuerst vorne gebleicht werden muss,

Digitized by Google

während die folgenden Schichten um so besser vor der Zersetzung geschützt bleiben, je weiter sie nach hinten liegen, weil dahin nur Licht solcher Wellenlängen dringt, das vorn nicht absorbirt wurde, also rothes und etwas violettes, welches unverhältnissmässig schwach auf Sehpurpur wirkt. Die wirksamste Leistung des Regenerators ist also auch vorn zu erwarten, und dass sie da erfolge, verbürgt das Vortreten der Epithelfortsätze bis an die Innenglieder der Stäbchen. So wird es erklärlich, dass sich die Stäbchen, falls die Belichtung nicht übermächtig wirkte, in ihrer ganzen Länge gefärbt erhalten und nach totaler Ausbleichung, während der natürlichen Dunkelregeneration sogar die erste schwache Lila-Tingirung von vorn bis hinten gleichmässig annehmen. Für das Epithel folgt aus der Anordnung der vor ihm liegenden Purpursäulchen, dass es in seiner hinteren Kernregion so lange vorwiegend von rothem und violettem Lichte betroffen wird, als noch Purpur vorhanden ist, und dass es im Gange der Ausbleichung erst recht dasjenige Licht empfängt, von welchem im Allgemeinen die schwächste chemische Wirksamkeit bekannt ist, nämlich gar kein violettes mehr, sondern nur rothes und gelbes. Man wird daher voraussetzen können, dass kurzwelliges Licht seinen regenerativen Funktionen besonders zuträglich, anderes gefährlich sei. In der That verhält es sich so, denn wenn der Purpur gänzlich erblichen ist und Licht aller Wellenlängen das Epithel erreichte, bedarf dasselbe 1—2 Stunden, um den Stäbchen die frühere Menge des Farbstoffes wiedergeben zu können, während es nach nicht ganz vollendeter Bleichung nur einiger Minuten bedarf, um den alten Zustand wieder herzustellen. Wir haben Frösche höchstens 10 Minuten in der Sonne oder einige Stunden im Tageslichte des Laboratoriums gehalten, bis die Netzhäute nicht farblos, sondern hell orange oder chamois geworden waren, und darauf in's Dunkle zurückgebracht. Nahm man dann 5—10—15 Min. später eine Netz-

Digitized by Google

haut heraus, so wurde sie wieder tief roth, zuweilen brandroth gefunden, weil offenbar noch etwas nicht regenerirtes Sehgelb neben dem Purpur darin steckte. In Fällen, wo die Farbe nach kurzer Besonnung gerade noch erkennbar war, haben wir nach 20—30 Min. schon den tiefsten Purpur wieder hergestellt gesehen. Diese Beobachtungen liessen sich ganz exact anstellen, weil der Frosch nicht weiter zu leben brauchte, nachdem das erste Auge vor dem Effecte der Dunkelheit untersucht worden, insofern das andere im abgeschnittenen Kopfe, oder selbst exstirpirt und feucht gehalten, liegen bleiben konnte. Doch haben wir auch an Augen verschiedener Individuen, also nicht so streng vergleichbar experimentirt, ausserdem einen Theil der Versuche so ausgeführt, dass das erste Auge dem Lebenden exstirpirt wurde, und der Frosch, nachdem ein geölter Watteprop in die leere Orbita gedrückt worden, mit dem andern Auge am Leben blieb. Indess fanden wir mit der letzten und ersten Methode niemals Unterschiede, welche das vom Blute versorgte Froschauge vor dem isolirten bevorzugt scheinen liessen.

Um zu sehen, ob das rothe Licht das Epithel am Regenerationsgeschäfte nicht hindere, wurden Frösche in der Sonne ihres Purpurs vollständig beraubt und unter mehreren Lagen rother Gläser weiter besonnt, unter welchen sich, durch einen Glaszaun getrennt, bereits aus dem Dunkeln ebendahin gesetzte Frösche befanden. An diesen war constatirt, dass sie demselben rothen Lichte ausgesetzt stundenlang intensiv purpurne Netzhäute behielten. Man hätte nun erwarten können, an den andern, vorher weiss belichteten Fröschen die Netzhaut nach zweistündigem Aufenthalte unter der rothen Bedeckung so regenerirt zu finden, wie wenn sie die gleiche Zeit im Dunkeln zugebracht hätten. Wenn das rothe Licht nicht intensiv genug war, sahen wir dies freilich oft genug vorkommen, aber an Tagen wo die Sonne continuirlich unbedeckt blieb, fanden wir die Retina die-

Digitized by Google

ser Thiere noch nach 4—6 Stunden ungefärbt. Gleichwohl war die Regeneration hier nach den ersten beiden Stunden sicher fort und fort im Gange geblieben, aber es war der interessante Fall eingetreten, dass der Purpur fortwährend in demselben Maasse ausblich, als er hergestellt wurde, denn als wir diese Frösche in's Dunkle setzten, fanden wir ihre Retina nach 5—15, vollends nach 20 Minuten vollkommen so intensiv purpurfarben, wie die seit Tagen im Dunkeln gehaltener. Um den Versuch zu verstehen, muss man wissen, dass das rothe Licht keineswegs des Vermögens entbehrt, den Sehpurpur auch intra vitam vollständig zu bleichen. Zur Zeit der intensivsten Sonnenwirkung im Juni und Juli gelang es uns nämlich ganz gut, lebende und kalt gehaltene Frösche unter 3 Lagen dunkelrothen Glases, durch die man bei direkter Richtung zur Sonne mit dem Spectroskope nur roth bis C sah, in 2—3 Stunden vollkommen des Sehpurpurs zu berauben. Der genannte Versuch erzielte also deshalb Differenzen zwischen den beiderlei Fröschen, weil die einen die rothe Belichtung mit einem Vorrathe fertigen Sehpurpurs antraten, die andern nicht, so dass die ersteren davon immer einen Ueberschuss behielten, während die andern trotz Erholung des Epithels nach den ersten beiden Stunden, allen Purpur hergeben mussten, der gerade gebildet war. Zum Gelingen des Versuches bedarf es selbstverständlich einer mittleren Intensität des Lichtes, die wir bei reinem Himmel meist Morgens oder Nachmittags fanden.

Nach diesen Erfahrungen am Lebenden wendeten wir uns zu ähnlichen Versuchen an isolirten Augen, indem wir den mehr oder minder verderblichen Einfluss spectraler Belichtung auf das blossgelegte Epithel festzustellen dachten. Da inzwischen die künstliche Regeneration des Purpurs gefunden worden, glauben wir zukünftigen Untersuchungen über den Gegenstand bessere Methoden versprechen zu können, als die bis jetzt von uns befolgten, und führen daher nur kurz Folgendes an.

Digitized by Google

Es ist zwar richtig, dass der entblösste Epithelgrund durch direktes Sonnenlicht (Heft I, S. 69) an Regenerationsvermögen beträchtlich einbüsst, aber der Erfolg zeigte sich nach vielen Wiederholungen des Experimentes inconstant. Zum Theil beruht dies auf Wärmewirkungen, ausserdem auf dem Umstande, dass grosse Unterschiede in den Präparaten vorkommen. Gegen die ersteren war durch gutes Kühlen des Auges in einer in Eis gesetzten Metallschaale, während die übergelegte Glasscheibe berieselt wurde, einigermassen zu helfen, und die Vernichtung der Regeneration wurde auch unter solchen Bedingungen, obwohl später, nach $^3/_4$—1 Stunde oft erzielt; dass dabei aber jegliche schädliche Erwärmung an dem tief schwarzen Grunde ausgeschlossen worden, ist zu bezweifeln. Gegen den andern Umstand, verschiedener Beschaffenheit der Präparate selbst, giebt es leider kein Mittel, denn es liegt auf der Hand, dass die weichen Epithelfortsätze in den Augengrund zurücksinken, nachdem die Stäbchenplatte abgezogen ist, und dass es dem Zufalle überlassen bleibt, wie sich dann das schwarze Pigment vor die regeneratorischen Theile der Zellenleiber als Lichtschutz legt. Wir können deshalb keinen grossen Werth auf unsere Beobachtung legen, dass mit spectralem Roth und Violet belichtete Augengründe mehr im Regeneriren angelegter, isolirt gebleichter Netzhäute leisteten, als solche, welche den Farben aus der Mitte des Spectrums ebenso lange (1—2 Stunden) ausgesetzt waren, obwohl wir Manches thaten, um die Bedingungen gleich zu halten, indem wir die Augenhälften in eine silberne auf Eis gesetzte Rinne legten, auf welche wir das Spectrum entwarfen. Ein Verfahren, das uns übrig blieb, nämlich halbirte, im Leben zuvor entpurpurte Augen zu nehmen und das Epithel auf dem natürlichen Wege durch die Stäbchen hindurch zu belichten, unter Umständen also, wo die Epithelfortsätze ihre nach vorn gerichtete Stellung beibehielten, wird später zur Erörterung kommen,

Digitized by Google

da es enger mit dem Capitel über die Ausbleichung intra vitam zusammenhängt und die Behandlung der gegenwärtigen Frage in der vorangegangenen Veränderung des Epithels sowohl, wie in der Anwesenheit der die Epithelfunction sogleich in Anspruch nehmenden Stäbchenplatte mit einem neuen Factor beschwert. Eines Umstandes mag jedoch hier schon gedacht werden, nämlich der Veränderung, welcher das Epithel im Leben hinter den gebleichten Stäbchen unterliegt. Diese muss tiefgreifend sein, wie man schon aus der Langsamkeit des vollständigen Wiederkehrens der Stäbchenfarbe sieht, welche nicht nur von den Veränderungen der Stäbchenschicht durch die lange und intensive Belichtung herrührt. Man überzeugt sich hiervon am einfachsten, wenn man isolirt gebleichte Netzhäute, die im Dunkelepithel so leicht wieder Farbe annehmen, in solches soeben entblösstes Hellepithel, wie wir das Epithelium lebend entpurpurter Frösche nennen wollen, legt. Niemals werden die Retinae darauf eher, als nach 2 Stunden wieder merklich farbig, und häufig bleibt auch nach längerer Berührung im feuchten und zur Verhütung des Absterbens der Epithelzellen kühl erhaltenen Raume der Effect ganz aus oder ist sehr schwach. Dies hängt sicherlich mit einer geringeren Widerstandsfähigkeit solchen Epithels gegen die zahlreichen in dem Experimente unvermeidlichen, operativen, schädlichen Einflüsse zusammen, denn darauf Deutendes wird auch im Gange der Wiederfärbung einer demselben Auge zugehörigen und gar nicht abgehobenen Stäbchenplatte oft bemerklich: so lange der Bulbus geschlossen bleibt, oder höchstens am Opticuseinsatze umschnitten wurde, ist davon freilich nichts zu bemerken, aber es genügt, das Auge zu halbiren oder vorn zu öffnen und die Linse ausschlüpfen zu lassen, um die Regeneration zu schwächen oder zu verzögern. So wird also auch intra vitam eine starke Veränderlichkeit des Epithels durch Licht anzunehmen bleiben —

Digitized by Google

ob nur directer Art, oder mehr durch Erschöpfung im Anfange des Belichtens, wo es an den Stäbchen noch etwas zu leisten hatte, steht dahin. Welcher Art die Aenderung sei, ist auf dem Wege des Ausschlusses ungefähr zu vermuthen: da unsere Versuche das Rhodophylin gegen Licht nicht veränderlich zeigen, wird es sich mehr um einen functionellen Verbrauch desselben und um Erschwerung der Neubildung dieser Substanz handeln.

Es bleibt noch zu erörtern, welche im retinalen Epithel kenntlichen Bestandtheile die für die Regeneration bedeutungsvollen seien, und wir haben darüber schon bemerkt, dass wir uns nur an solche zu halten gedächten, welche so ausnahmslos auftreten, wie der Regenerationsprozess selbst. Wir hielten es daher nicht für erspriesslich, die pigmentirten Bildungen in's Auge zu fassen, welche so häufig fehlen, ohne damit übrigens sagen zu wollen, dass ihnen keine Bedeutung für den Sehact zukomme oder dass sie ganz indifferent seien. Das Letztere möchten wir selbst von dem anscheinend ausserordentlich widerstandsfähigen, krystallinischen, braunen oder schwarzen Pigmente nicht annehmen, denn wir haben öfter bemerkt, wie sehr z. B. die Grösse dieser Krystalle wechseln kann, und mussten fast vermuthen, dass gelegentlich und nicht ohne Beziehung zu Licht und Dunkelheit sowohl Ausscheidungen, wie Lösungen dieses merkwürdigen Körpers vorkommen. Zuweilen sahen wir einzelne der kleinen schwarzen Nadeln oder Prismen so auffällig von einem dunkelbraunen Hofe umgeben, oder mit ebenso gefärbten, lang ausgezogenen Anhängseln versehen, dass wir an die hübsche Erscheinung erinnert wurden, die man beim Einstreuen von Berliner Blau, übermangansaurem Kali u. a. sehr dunkeln, löslichen Farbstoffen in Wasser sieht.

Aus demselben Grunde, wie bei dem schwarzen Pigmente,

Digitized by Google

sahen wir auch von den gelben Oeltropfen des Epithels, deren Vorkommen ebenfalls ein beschränktes ist, in Hinsicht auf die Regeneration ab, und wir müssen bekennen, nicht verstehen zu können, wie man dazu kam, in dieser Richtung Fühlung zu suchen. Herr *Boll* sagt freilich, die gelbe Farbe, welche purpurne Netzhäute durch Behandlung mit Essigsäure annehmen, sei „absolut identisch" (Arch. f. Anat. u. Physiol. Heft 1. S. 17) mit der jener Oelkugeln, allein wir fanden daran nichts absolut, als dass es falsch ist. Die einfachsten Versuche zeigen, dass überschüssige Essigsäure von 10—30 p. Ct. die Retina nur anfangs gelb, später farblos macht, während sie die gelbe Farbe der Fettkugeln des Epithels gar nicht verändert. Mit Essigsäure gelb gewordene Netzhäute gaben ferner, so wenig wie die bis zum Sehgelb durch Licht veränderten, an Alkohol, Aether, Chloroform, Benzol, Schwefelkohlenstoff u. s. w. irgend welche Spur des Gelb ab, während das gelbe Fett der Epithelzellen von jenen Mitteln leicht gelöst wird. Wir haben diese Versuche mit 40 Netzhäuten vom Frosche und mit 12 vom Ochsen ausgeführt und dabei Sorge getragen gleichzeitig etwas farbloses Fett mit in Lösung zu geben, ohne jedoch etwas Anderes zu erreichen, so dass wir wohl mit einiger Sicherheit über diese augenscheinlich wesentliche Differenz urtheilen können. Ausserdem zeigte keins der gelben aus Rhodopsin zu erhaltenden Producte etwas von der durch 2 Absorptionsbänder ausgezeichneten Wirkung des gelben Epithelfettes (vergl. d. flgd. Cit.). Dass der Farbstoff des gelben Fettes im Retinaepithel etwas lichtempfindlich sei, stellen wir nicht in Abrede, allein wir halten es für zeitgemäss darauf aufmerksam zu machen, wie viele Farbstoffe in Organismen solche geringe Grade von Bleichung im intensiven Sonnenlichte zeigen. Stark verdünnte, aber noch sehr kenntlich gefärbte Froschgalle z. B. bleicht in zwei Stunden an der Sonne fast vollkommen aus. Wenn daher merkliches Abblassen der gelben Oeltropfen hinter

Digitized by Google

den Stäbchen nach langer und intensiver Belichtung vorkommt, so beweist dies wahrscheinlich, wie erheblich das Epithel durchleuchtet wird, wir können aber nicht umhin zu bemerken, dass es unrichtig ist, wenn die Herren *Boll* und *Capranica* (Arch. f. Anat. u. Physiol. Heft 2 u. 3. S. 284) ganz allgemein behaupten, die farblosen, eigenthümlich gestalteten Klümpchen, welche neben den farbigen Kugeln vorkommen, seien ausgebleichtes Fett. Man hat hier zweierlei zu unterscheiden: 1. echte Fettkugeln, fast oder ganz farblos, welche meist recht klein sind und in der Nähe grösserer, noch blassgelber Tropfen liegen, 2. aus ganz anderem Materiale, durchaus nicht aus Fett bestehende, farblose, stark contourirte, glänzende Klümpchen. Die ersteren sind in Aether und in Benzol leicht löslich, färben sich schnell mit OsO_4 tief braun und widerstehen Natronlauge von 10p. Ct., sowie der Galle, die letzteren sind in Aether und Benzol unlöslich, quellen in Natron colossal auf, verschwinden vollständig durch Galle und färben sich bei allmähliger Einwirkung von OsO_4 viel später, als die unmittelbar daneben liegenden Fetttropfen. Die Fetttropfen zeigen zuweilen unverkennbare Theilungsvorgänge.

Unter welchen Umständen die eben genannten, in Galle löslichen, farblosen Klümpchen entstehen, vermögen wir noch nicht mit Sicherheit anzugeben, da wir sie sowohl bei lange im Dunkeln gehaltenen, wie bei besonnten und bei abwechselnd belichteten Fröschen, zuweilen in erstaunlicher Menge, so dass ihr Volum das der Fetttropfen vielfach übertraf, gefunden haben. In anderen Fällen waren sie spärlich vorhanden und fehlten manchen Zellen gänzlich. Erwägt man das chemische Verhalten dieser Gebilde, so findet man so grosse Uebereinstimmung mit der Substanzenmischung, woraus die Aussenglieder der Stäbchen bestehen, dass man sich des Gedankens kaum erwehren kann, sie seien Zerfallsproducte dieser. Alle Stäbchen wurzeln bekanntlich in den Epithelzellen

Digitized by Google

mit unregelmässig gestalteten Kuppen, deren Oberflächen an überlebenden Präparaten wie angefressen aussehen und bei der überwiegenden Mehrzahl 3—4 quer verlaufende, sehr deutliche, runzelige Striche zeigen, die auf keinen andern optischen Effect, als den von unregelmässigen Oberflächen erzeugten zurückzuführen sind. Sollte da nicht eine Aufblätterung der Plättchensäule nach hinten und ein Hineinziehen der Zerfallsprodukte in den Leib der Epithelzellen vorliegen? Die langsamere Reaction auf OsO_4 und die mehr in's Olivengraue schlagende Färbung, welche die Klümpchen in den Epithelzellen annehmen, widerspricht dieser Auffassung nicht, denn es ist schon aus *Morano's* Arbeit (*M. Schultze's* Archiv, Bd. 8, S. 81) bekannt, dass der in's Epithel ragende Theil der Stäbchen durch das Reagens häufig auffallend schwächer gefärbt wird, als die Wurzel des äussern Gliedes am inneren, was augenscheinlich nicht an der Umhüllung durch Epithelsubstanz sondern an Verschiedenheiten in der Zusammensetzung der vorderen und hinteren Theile eines Aussengliedes liegt. Wir haben ganze epithelfreie Netzhäute oder durch rasches Schütteln mit schwacher Kochsalzlösung in Emulsion isolirt erhaltene Stäbchen des Frosches mit grossem Ueberschusse von 1procentiger OsO_4 tagelang behandelt und immer eine bedeutende Anzahl schwach oder nur theilweise intensiv gefärbter Stäbchen gefunden, wie es schien, unabhängig von voraufgegangener Belichtung oder Verdunkelung. Einige Stäbchen waren in der ganzen Ausdehnung des Aussengliedes tief schwarz, andere nur olivenfarbig, sehr viele am einen Ende heller, und wo etwas vom Innengliede anhaftete, so dass Vorn und Hinten daran zu bestimmen war, fanden wir ohne Ausnahme, bei ungleichmässig vertheilter Färbung, die hellere hinten. Stärkere Schwärzung in der Mitte, zwischen zwei helleren Enden, wurde niemals beobachtet, obwohl wir manches Stäbchen antrafen, das in der Mitte eingerissen, gedrückt und so beschaffen war,

Digitized by Google

dass das Reagens dort gewiss am leichtesten Zugang fand. Ohne annehmen zu wollen, dass die farblosen, nicht aus Fett bestehenden Klümpchen des Epithels grade mit dessen regenerativem Vermögen für den Sehpurpur in Beziehung zu bringen seien, meinen wir ihnen doch eine Bedeutung bei dem ganzen merkwürdigen Stoffwechsel zwischen Stäbchen und Epithelzellen zuschreiben zu müssen und, obwohl man weder in den Stäbchen noch im Nervenmarke den die Osmiumreduction bedingenden chemischen Körper kennt, so dass man nur im Allgemeinen eine Betheiligung von Spaltungsproducten der Fette oder des Lecithins dabei anzunehmen pflegt, auch die Fetttropfen des retinalen Epithels in ähnlichem Sinne beachten zu sollen. Die letzteren kommen jedoch auch nicht allgemein vor; wir vermissten sie unter den Säugern beim Schweine, dem Rinde und dem Hunde, sowohl auf, wie neben dem Tapetum. Beim Kaninchen waren sie constant und auch bei dunkel gehaltenen Thieren vorhanden, aber nicht erkennbar oder so schwach gefärbt, wie es das Bindegewebsfett hier zu sein pflegt. Beim Frosche, wo alles Fett intensiv goldgelb gefärbt ist, sind es auch die Tropfen des Retinaepithels, und es ist uns unmöglich gewesen in der Löslichkeit, durch Reactionen oder an dem spectroskopischen Verhalten des aus den Augen einerseits, aus dem Fettkörper (auch aus der Haut) andrerseits isolirten gelben Pigments, irgend welche Unterschiede zu finden. Herrn *Capranica's* Untersuchungen (l. c.) über die durch Licht wenig veränderlichen Farbstoffe der Retina, werden nach dieser Richtung ausgedehnt, gewiss Manches fördern und vor dem vergeblichen Bemühen schützen, in jenen interessanten, für die chemische Bearbeitung eine wahre Fundgrube bietenden Stoffen nur einen einzigen mit dem Lutein übereinstimmenden (Accad. d. Lincei, Vol. 1, S. 175) anzunehmen. Von der Vogelretina ist es bereits bekannt, dass sie mindestens zwei Farbstoffe in den Zapfen führt, einen grün-

Digitized by Google

lichgelben und einen rubinrothen, und es ist leicht an dem beliebig verdünnten rothen zu sehen, dass er niemals die Nüance des ersteren annimmt. Derselbe ist dann wiederum von dem Luteïn, dieses weiter von den Farbstoffen des Hühnereidotters so verschieden, dass hier mindestens 4 verschiedene, aber in gewissen Reactionen vielleicht Verwandtschaft bekundende Pigmente vorliegen. Diesen gegenüber steht der Sehpurpur mit seinen Zersetzungsproducten, ausgezeichnet durch die colossale Veränderlichkeit im Licht, durch die Unlöslichkeit in Fetten und in den Lösungsmitteln dieser, durch die Entstehung aus farblosem, nur in Galle löslichem Materiale.

Heidelberg, den 9. November 1877.

(Schluss folgt.)

Digitized by Google

Erfahrungen und Bemerkungen über Enzyme und Fermente.

Von **W. Kühne.**

Erörterungen über einige die Gährung, die Fäulniss und verwandte Processe betreffende Hypothesen, welche häufig mit Unrecht als Gährungstheorien bezeichnet werden, sind der Gegenstand des Folgenden. Es würde zu weit führen und ist jetzt, wo die Geschichte der fermentativen Processe den meisten Betheiligten gegenwärtig sein wird, unnöthig auf den nur theilweise erfreulichen Entwicklungsgang der wesentlichen Anschauungen über jene wichtige Classe von Naturerscheinungen ausführlich einzugehen, und mehr als den Umstand in Erinnerung zu bringen, dass die Geschichte der Gährung bis heute überhaupt noch kein Stadium gehabt hat, wo von theoretischen Erörterungen ernsthaft hätte die Rede sein können. Gelegentliche Speculationen, deren vorübergehender Werth nicht verkannt werden soll, sind begreiflich nicht ausgeblieben, aber es dürfte Niemanden geben, der darin jemals den Ausdruck einer das ganze vielartige Gebiet auch nur annähernd umfassenden Abstraction gefunden hätte. Unsere Kenntniss fermentativer Processe ist in einem Zustande, wo trotz übergrosser Anzahl sicher gestellter Thatsachen grade diejenigen fehlen, welche man zur Aufstellung von Theorien kennen müsste und wenn es nicht den Anschein hat, als ob die seit vielen Jahren auf dem Gebiete mit aussergewöhnlichen An-

Digitized by Google

strengungen unternommenen Untersuchungen zu deren Entdeckung führen werden, so ist dies kaum anders verständlich, als weil Gemeinsames da gesucht wurde, wo in Wirklichkeit Verschiedenartiges besteht.

Das Zusammenfassen der Reihe von Erscheinungen, die wir fermentative nennen, unter einen Begriff ist bekanntlich ein Erbstück, das die heutige Biologie von der Chemie empfing; nur war der Werth der Erbschaft am Tage der Uebernahme, als *Mitscherlich* seinen ebenso berühmten, wie oft bekämpften und immer wieder neu entdeckten Beweis lieferte, dass das Muster aller Gährungsprocesse die Anwesenheit eines lebenden Organismus erheische, zweifelhaft geworden. Um das einfache Factum, dass Bierwürze ohne Hefe niemals gährt, ist mit allen nachträglichen Entdeckungen nicht herumzukommen: mag die Hefe dazu wachsen müssen oder nicht, krank sein sollen oder gesund, Sauerstoff bedürfen oder Kohlensäure, so ändert das Alles nichts an dem Umstande, dass Niemand bis heute aus Zucker Alkohol und Kohlensäure zu bilden wusste, ohne die Hefe oder ohne lebende Organismen. Das gleiche Geschick in das biologische Gebiet zu fallen, fanden der Reihe nach die Milchsäuregährung, die Bildung der Buttersäure, die Essigbildung aus Alkohol und vieles Andere, endlich die Fäulniss und Verwesung, denn alles dieses ist später als das Werk von Organismen, obschon anderer, als der Hefe erkannt. Diese Lebensgährungen blieben den übrigen ohne Organismen, oder mit deren Educten erzeugten, wie der Zuckerbildung aus Stärke durch Diastase und Ptyalin, der Zerlegung von Glucosiden durch Emulsin, der Pepsinverdauung, der Fettzerlegung durch Pflanzentheile oder durch den Pankreassaft und vielen anderen ähnlichen Vorgängen angereiht, und wenn man diese mit einiger Sicherheit auf die chemischen Processe hydrolytischer Spaltung zurückgeführt hatte, schienen ähnliche Aussichten für jene meist nur desshalb berechtigt, weil

Digitized by Google

sie mit ihnen als Gährungsvorgänge übernommen waren. Neuerdings scheint jedoch die Nothwendigkeit der Trennung zwischen den beiden Erscheinungsclassen eingesehen zu werden und bereits Ausdruck gewonnen zu haben in dem Namen der geformten und der ungeformten Fermente, obschon derselbe die Zusammengehörigkeit der Vorgänge noch anerkennt und nur in Bezug auf das sie bewirkende Mittel trennt.

Die letzteren Bezeichnungen haben, wie bekannt, allgemeine Zustimmung nicht erwerben können, indem von der einen Seite erklärt wurde, man könne chemische Körper, wie das Ptyalin, das Pepsin u. s. w. nicht Fermente nennen, da der Name schon an Hefezellen und andere Organismen vergeben sei (*Brücke*), während von der andern Seite gesagt wurde, Hefezellen könnten kein Ferment sein und heissen, weil man dann alle Organismen, mit Einschluss des Menschen dazu mache (*Hoppe-Seyler*). Ohne weiter untersuchen zu wollen, wesshalb der Name von so entgegengesetzten Seiten solchen Anstoss erregt, habe ich zunächst aus dem blossen Widerspruche Anlass genommen, einen neuen vorzuschlagen, indem ich mir erlaubte, einige besser bekannte, von Manchen als ungeformte Fermente bezeichnete Substanzen Enzyme zu nennen. Damit war an sich keine bestimmte Hypothese verbunden, sondern nur gesagt, dass in der Zyme etwas vorkomme, das diese oder jene zu den fermentativen gerechnete Wirkung habe, aber indem ich den Ausdruck nicht auf das Invertin der Hefe einschränkte, gesagt, dass verwickeltere Organismen, aus denen die Enzyme: Pepsin, Trypsin u. s. w. zu gewinnen sind, nicht so grundsätzlich von den einzelligen verschieden seien, wie es sich z. B. *Hoppe-Seyler* zu denken scheint. Es bestimmte mich noch ein zweiter Grund, nach einem neuen Namen (den ich für unsere Zunge gern anmuthender gefunden hätte) zu suchen. Bekanntlich sind die chemischen Processe, welche man bisher durch sog. ungeformte Fermente zu erregen wusste, ohne Aus-

Digitized by Google

nahme hydrolytische, während man dies von den wenigsten der durch geformte Fermente veranlassten behaupten, ja vielmehr beweisen kann, dass sie z. B. noch Reductionen und Oxydationen umfassen, und in vielen Fällen eine Anzahl Producte liefern, deren Entstehung durch blosse Spaltung und Zersetzung des Vergährten chemisch schlechthin unverständlich ist, so unverständlich, wie wenn man alle von entwickelteren thierischen oder pflanzlichen Organismen gebildeten Stoffe nur aus Spaltungen der in ihrer Nahrung enthaltenen Körper ableiten wollte. So konnte wohl ein Name beseitigt und durch einen neuen ersetzt werden, wenn man fragen musste, mit welchem Rechte der alte so verschiedenartige Processe als gemeinsame bezeichne, während er das sie erregende Mittel bereits als verschieden anerkannte.

Es scheint eine gewisse Furcht gewesen zu sein, welche die eben berührten, Jedermann bekannten Verschiedenheiten bei Seite schieben und das wenige Gemeinsame ungebührlich in den Vordergrund stellen liess, eine Scheu den Lebensprocessen mehr zuzugestehen, als bis dahin mit chemischen Mitteln erreicht worden. Dennoch begreift man schwer, wie sich Chemiker sehr gemischter Richtung und Thätigkeit nur ereifern mögen, wenn andere von der Strenge und Vorgeschichte eines *Mitscherlich* und *Pasteur* fermentativen Organismen zu wahren suchten, was ihnen thatsächlich eigen ist, und wenn gefährliche Begünstigung der Lebenskraft in unseren Tagen gewittert wird, wo nichts geschieht oder geschehen wird, als die Untersuchung der ganzen Kette chemischer Processe in Organismen. Um sich vor der vermeintlichen, heute Niemanden bedrohenden Gefahr des alten Gespenstes zu schützen, wurde der Ausweg gesucht, alle mit Recht oder Unrecht zu den Gährungen gerechneten Vorgänge auf die Wirkung einer Classe von chemischen Körpern zurückzuführen, also auf ungeformte Fermente, und solche für jeden durch Organismen oder in diesen verlaufenden Process anzunehmen. Bekanntlich

Digitized by Google

machte *Berthelot* 1860 damit den Anfang, indem er aus Hefe mit Wasser zellenfreie Extrakte bereitete und deren invertirende Wirkung auf den Zucker nachwies. Da alle Alkoholgährung rechtsdrehender Zucker mit der Inversion anhebt, so war hier factisch ein Theil und zwar der erste des ganzen Gährungsactes unabhängig und ausserhalb vom Organismus nachgeahmt, ein chemisches Experiment mit einem Mittel des Organismus an Stelle des physiologischen getreten. Seit dies gelungen, sind 17 Jahre vergangen, während derer man das Invertin zwar besser kennen und isoliren lernte, aber ohne einen zweiten, ähnlichen neuen Körper aus der Hefe zu bringen. Nicht die Alkoholgährung, sondern etwas, das ihr voraufgeht, ist dem Organismus abgelauscht und nachgeahmt, und obgleich weiterhin viele neue Methoden gefunden wurden die Hefe abzutödten, ohne das Invertin zu vernichten, und viele gute Mittel es in Lösung zu bringen, zu fällen und wieder zu lösen, schlug darunter nichts auf die vermuthete andere Substanz an, welcher die Alkohol- und CO_2-Bildung zuzuschreiben gewesen wäre.

Unzweifelhaft berechtigt die Entdeckung des Invertins zu einigen Hoffnungen und scheint bereits in Herrn *Musculus*' Entdeckung des Harnstoff zersetzenden Enzyms Nachfolge gefunden zu haben, so dass gewiss Niemandem verwehrt werden kann, weiter zu hoffen auf den Tag, da man eben so viele Enzyme in der Hand haben wird, wie bis dahin Gährungen gezählt worden. Es fragt sich nur, was in der Zwischenzeit am zweckmässigsten geschieht, ob man auf Hoffnungen Hypothesen errichtet und diese Theorien nennt, oder ob man Hand anlegt einerseits alle erdenklichen Lösungsmittel an den Organismen zu probiren um ihnen die Enzyme zu entreissen, andrerseits den Versuch zu machen davon zunächst abzusehen und alle Einzelprocesse im Leben der Zelle zu entschleiern. Mir scheint, dass vom Letzteren Beides zu geschehen habe, vom Ersteren so wenig wie möglich, dass

Digitized by Google

man sich aber vor Allem hüten solle zufrieden zu sein, wenn Nichts anschlägt.

Davor zu warnen, wäre überflüssig und geschähe nicht, wenn es nicht augenscheinlich und dringend nöthig wäre. Man schlage die neueste physiologische Chemie S. 114. u. 115. auf, um eine Darstellung zu finden, welche die Existenz eines (ungeformten) Fermentes in der Hefe, das den Zucker in Alkohol und CO_2 zersetzt, wie eine selbstverständliche, des Beweises nicht bedürfende Sache behandelt, ja welche an dem Misslingen aller Versuche das fragliche Enzym darzustellen, so wenig Anstoss nimmt, dass sie das unbequeme Factum in die positive Behauptung verkehrt, das Ferment werde mit dem Tode der Hefe wirkungsunfähig. So wird *Hoppe-Seyler* mit der Frage fertig, dem Tenor nach mehr als zufrieden, fast vergnügt.

Da in solcher Behandlung Gefahr für die Wissenschaft liegt, ist es mehr als Zeit den Unterlagen nachzuforschen, auf welche so viel Zuversicht gesetzt wird. Sind es nur die am Invertin einsetzenden Hoffnungen oder thatsächliche Ergebnisse, die Herrn *Hoppe-Seyler* vorzugehen gestatten, wohin ihm Niemand folgt? Es mag einige Beobachtungen geben, welche ihm ausreichend schienen Das für wahr zu halten, was er wünschenswerth fand, aber ich glaube zeigen zu können, dass alle darauf bezüglichen Thatsachen, die er beobachtet zu haben meint, keine sind.

Seit die Zersetzung der Albumine durch den Pankreassaft von mir erkannt worden, überlegte Herr *Hoppe-Seyler,* wo Albumin verdaut werde, müsse es in derselben Weise geschehen, wie ich es gefunden: neben Peptonen müssten überall auch Leucin und Tyrosin entstehen. Die Herren *Möhlenfeld* und *Lubavin* mussten in seinem Laboratorium darthun, dass die Pepsinverdauung diese Produkte auch liefere. Sie haben sich getäuscht, da sie nicht beachteten, dass die Magenschleimhaut bei der Selbstverdauung in Folge eines darin enthaltenen Körpers, welcher namentlich

Digitized by Google

Tyrosin in grosser Menge bildet, das ganze von ihnen gefundene Leucin und Tyrosin geliefert, und dass das in Verdauung gegebene Fibrin oder Caseïn nichts dazu beigetragen hatte. Ich erwarte mit Sicherheit dies im *Hoppe*'schen Laboratorium nächstens auch entdeckt zu sehen, da es nichts Einfacheres geben kann, als tyrosinfreien, ausgedauten und dialysirten Magensaft zur Verdauung zu verwenden. Jene vermeintliche Thatsache kann also gestrichen und dafür gesetzt werden: es gibt verschiedene Zersetzungsweisen des Eiweiss durch verschiedene Enzyme. *Hoppe-Seyler* findet weiter, was bekannt war, dass Bacterien oder überhaupt jegliche Fäulnisserreger ausser Peptonen, Leucin, Tyrosin, noch Indol u. s. w. aus dem Albumin erzeugen, ferner dass Ueberhitzen mit Wasser dieselben Produkte liefert, und knüpft daran die Erfahrung, dass ein Theil der Stoffe auch durch Kochen mit verdünnter SH_2O_4 erzielt wird. Demnach sind ihm der Fäulnissprocess, der durch H_2O und der durch SH_2O_4 hervorgebrachte mit dem pankreatischen gleich, und folglich die Bacterien an der Oberfläche mit Pankreatin versehen. Indem ich von dem Vergleiche der durch SH_2O_4 unterstützten oder durch Ueberhitzung erzielten H_2O-Wirkung, worüber geringe Erfahrungen vorliegen, absehe, mache ich geltend, dass die Bacterien das Eiweiss resp. das Pepton weiter zerlegen, als es das Pankreas thut, dass Bacterien das Antipepton angreifen, das Pankreas es nicht thue, dass dieses niemals Indol erzeugt, jene binnen Kurzem dessen Bildung veranlassen, und behaupte endlich, dass unter den hier in Frage kommenden Bedingungen niemals Indolbildung beobachtet ist ohne Gegenwart von Bacterien. Bevor ich dies belege und die Abwesenheit der behaupteten Uebereinstimmung in den genannten Processen eingehend erörtere, füge ich hinzu, dass aus Bacterien auch kein sog. Pankreatin (Trypsin) zu gewinnen ist und beginne hiermit.

Zur Bacterienzucht giebt es bekanntlich nichts Vortheil-

Digitized by Google

hafteres, als die Substanzenmischung, welche man durch Digeriren von Pankreas bei 35° — 40° C. erhält. Allem Anscheine nach liegt dies sowohl in der fast regelmässig von vornherein vorhandenen Infection der Drüse durch organisirte Keime d. h. an der Praeexistenz von Bacterien, wie an der zu ihrer Vermehrung sehr geeigneten, Peptone und manches Andere enthaltenden Lösung, welche sich alsbald bildet. Ich liess solche Mischungen, denen ich noch reichlich Blutfibrin zugesetzt, 24 Stunden bei 35° C. stehen, kochte sie darauf, filtrirte durch Leinen und setzte nach dem Abkühlen bis auf die vorige Temperatur, eine Spur ungekocht zurückbehaltener Masse zu, um sie mit den gleichen Bacterien wieder zu impfen, welche schon einmal darin in grosser Menge entstanden waren. Jetzt waren die Enzyme des Pankreas bis auf die verschwindende und ganz zu vernachlässigende Menge, welche an der Impfspitze mit den Bacterien haftete, zerstört, und die reine Fäulniss begann. Nach 8tägiger Digestion wurde die furchtbar stinkende, von den Bacterien stark getrübte Masse auf flachen Tellern bei 35° C. verdunstet und deren inficirende Beschaffenheit durch Eintauchen einer damit beschmutzten Nadelspitze an einer neutralisirten, klaren Pepsinpeptonlösung geprüft. Da dieselbe schon nach 5 Stunden Gasentwicklung, üblen Geruch und starke Trübung von massenhaft entwickelten Bacterien zeigte, konnte die Zucht für gut erhalten gelten. Ein beträchtliches Quantum des Bacterienbreies wurde mit Alkohol ganz entwässert, mit Aether im Extraktionsapparate erschöpft und nach dem Trocknen erst an der Luft, dann über SH_2O_4 zum Theil mit kaltem Wasser, andern Theils mit nicht ganz wasserfreiem Glycerin behandelt, die H_2O-Lösung nach 24 Stunden filtrirt, die in Glycerin erst nach 14 Tagen. Beide Lösungen waren klar, geruchlos und gaben keine Spur der rothen Indolreactionen, weder beim Erwärmen mit etwas Salpetersäure oder mit HCl und

Digitized by Google

salpetrigsaurem Kali, noch mit HCl und dem Fichtenspahn, während sie sich mit Br- oder Cl-Wasser etwas violet färbten. Diese Lösungen zu klaren, neutralen oder schwach alkalischen 1 pCt. Soda enthaltenden Pepsin-Peptonlösungen gethan, liessen dieselben mehrere Tage bei 35—40° C. unverändert, wenn es gelang das Hineinkommen von Bacterien aus der Luft zu verhüten, und gaben dann ebensowenig Reactionen des Indols. Mit Flocken rohen oder gekochten Fibrins digerirt, erzeugten sie daran in 24 Stunden keinen Zerfall und am rohen Fibrin auch nach mehrtägiger Digestion nicht, wenn neue Bacterienbildung durch Salicylsäure von 1 p. m., in alkalischer Lösung durch 1 pCt. Thymol verhütet wurde. Um ganz sicher jede tryptische Wirkung verneinen zu können, wurde das wässrige Bacterienextrakt einer 8tägigen Dialyse auf fliessendem Wasser unterworfen, während Sorge getragen war, dem Dialysorinhalte fortwährend einen Gehalt von etwa 1 p. m. Salicylsäure zu erhalten. Die so gründlich von allen diffusiblen Stoffen gereinigte und stark verdünnte Lösung wurde darauf erst durch Schütteln mit Aether möglichst von der Salicylsäure wieder befreit und durch Verdunsten bei 40° C. auf weniger als das ursprüngliche Volum zurückgebracht. Jetzt mit Bromwasser vorsichtig versetzt, nahm sie keine andere Färbung, als schliesslich die gelbe des Reagens an. Ich habe diese Lösung, welche von bekannten pankreatischen Verdauungsprodukten nichts mehr enthalten konnte, und wenn sie Trypsin enthalten haben sollte, dieses bewahrt haben musste, auf die vorerwähnte alkalische Peptonlösung 8 Stunden wirken lassen, darauf die Mischung zum Sieden erhitzt und stark concentrirt. Sie gab auch so keine Färbung mit Chlor- oder Bromwasser, und als ich sie in bekannter Weise mit Alkohol ausfällte und auskochte, keine mikroskopisch erkennbaren Krystallisationen von Leucin oder Tyrosin.

Ein anderes Quantum des ursprünglichen Bacterienbreies

Digitized by Google

wurde nach dem Eindunsten bei 40° C. über SH_2O_4 zu trocknen versucht; doch blieb die Masse teigig. Ohne Alkoholbehandlung mit Glycerin zerrieben, lieferte sie nur trübe Filtrate, mittelst derer nichts anderes, als stürmische Bacterienfäulniss zu erzielen war. Bei einem Versuche dieser Art wurde die Extraction monatelang mit krystallisirendem Glycerin über SH_2O_4 fortgesetzt, unter der Exsiccatorglocke filtrirt, was einige Wochen erforderte, und dennoch das Filtrat bacterienhaltig gefunden, sowohl an der Wirkung, wie bei der mikroskopischen Untersuchung einzelner mit wenig reinem Wasser verdünnter Tropfen. Hiernach bleiben also Bacterien in nahezu wasserfreiem Glycerin wirksam und lebendig.

Aehnliche Versuche wurden noch mit anders gezüchteten Bacterien ohne Aenderung des Erfolges angestellt. Ich nahm dazu von überschüssigem Alkali durch längeres Waschen ziemlich befreites Natronalbuminat aus Eierweiss, das ich in kochendem Wasser löste und nach dem Filtriren der Fäulniss, wie sie grade kam, bei 35° C. überliess, ein Verfahren, das mit besonderer Sauberkeit über Bacterien zu arbeiten gestattet. In einigen Fällen verwandelte sich die stark nach Indol und, wenn man es sagen darf, sehr rein darnach riechende Masse ganz in eine dünne weissliche Gallerte, welche nur aus den Zoogloeabildungen der Bacterien zu bestehen schien. Setzte ich hierzu Alkohol, bis die Trübung gerade erheblich verstärkt wurde, so klärte sich die Flüssigkeit nach einigen Stunden und gab einen gut zu bearbeitenden Bodensatz, der kaum Anderes als Bacterien zu enthalten schien. Mit Alkohol entwässert und mit Aether extrahirt, bildete er eine hellgelbliche Masse, welche vor der aus faulendem Pankreasextract gewonnenen schwärzlichen Materie den Vorzug verdiente. Die damit angestellten Versuche Fibrin zu lösen oder Pepton zu zersetzen, fielen indess ebenso negativ aus, wie die früheren. Da in neuerer Zeit bezweifelt wird, dass absoluter

Digitized by Google

Alkohol Bacterien tödte, muss ich hervorheben, dass meine allerdings ausserdem mit Aether extrahirten Präparate entschieden steril sind.

Nach diesen Versuchen, welche an Bacterien die Behandlung nachahmen, deren Anwendung bei jedem Pankreas zur Gewinnung massenhaften Trypsins führt, dürfte Niemand zweifeln, dass aus den ersteren kein Trypsin oder Pankreatin zu extrahiren ist, und *Hoppe-Seyler*, der dies nach meiner kurzen Ankündigung bereits acceptirt zu haben scheint, kann sich dagegen nicht wol mit der Bemerkung, es sei ohne alle Bedeutung, ob die Bacterien gerade in Wasser lösliche Enzyme enthielten, decken, da er behauptet hatte, sie enthielten Pankreatin, denn dieses und alles, was er selbst darunter nur verstehen mag, ist Geweben mit Wasser zu entziehen, besonders nach voraufgegangener Alkoholwirkung, und müsste vollends den Bacterien entzogen werden, wenn es richtig wäre, was Herr *Hoppe-Seyler* zu wissen versicherte, dass sie es auf der Oberfläche trügen.

Nach Erledigung des letzteren Punktes wird hierauf vermuthlich geantwortet werden, Pankreatin sei, als nicht diffusibel, aus Bacterienleibern nicht, aus den Drüsenzellen des Pankreas dagegen extrahirbar, weil diese der Selbstverdauung unterliegen, eine Betrachtung, welcher sich einige Berechtigung nicht absprechen liesse, wenn nicht die Erfahrung zeigte, dass sog. indiffusible Stoffe recht gut durch kaltes Wasser und Glycerin Zellen zu entziehen sind. Ich brauche nur an die Extraction des wahrlich schwer diffusiblen Hämoglobins aus Blutkörperchen zu erinnern und hinsichtlich der Enzyme das zuckerbildende zu nennen, das aus manchen mit Alkohol behandelten Drüsen, deren Zellen keine Selbstverdauung zeigen, leicht zu bekommen ist, um wenig Wahrscheinlichkeit dafür übrig zu lassen, dass die Bacterien sich in dieser Beziehung anders verhalten. Indess mag immerhin angenommen werden, ein Bacterien-Pankreatin existire, sei aber

Digitized by Google

schlechterdings nicht von seinem Standorte zu lockern; dann fällt offenbar Dem, der es behauptet, vor Allem der Beweis von der Indentität der Bacterienwirkung mit der pankreatischen zu. *Hoppe-Seyler* erklärt sich unbedingt in diesem Sinne und umgeht meine sehr bestimmte Aeusserung, dass die Pankreasverdauung ohne Bacterien niemals aus Eiweiss Indol erzeuge, mit der Bemerkung, es sei ihm nicht bekannt, ob Versuche von sehr langer Dauer darüber angestellt seien. Obwohl ich bekennen muss nicht zu verstehen, wie man dazu kommt, von der Trypsinwirkung erst nach Monaten vorauszusetzen, was Bacterien, die ja gerade so wirken sollen, im ungünstigen Falle nach 24 Stunden, im günstigen in 5 Stunden zu Wege bringen, gehe ich gern auf den Einwand ein, da mir darüber fast 10-jährige Erfahrungen zu Gebote stehen, deren Mittheilung vielleicht um so willkommener ist, als dieselben auch mich erst nach und nach von einigen Irrthümern befreiten, worin ich Herrn *Hoppe-Seyler* noch befangen sehe.

Als ich 1867 die Bildung von Leucin und Tyrosin aus dem Eiweiss durch das Pankreas fand, habe ich dieses Factum wohl sicher constatiren können, aber meine Beobachtungen über die Produkte länger dauernder Einwirkung der pankreatischen Enzyme an der Stelle abbrechen müssen, wo die ungeheure Schwierigkeit begann, die Mitwirkung der Bacterien zu verhüten. Seitdem ist es mein unablässiges Streben gewesen, die Trypsinwirkung davon frei zu erhalten, und jetzt, wo ich dieses Ziel erreichte, ist an Stelle dessen die Aufgabe getreten, den Bacterien zu geben, was ihnen zukommt, und die Trypsinwirkung von Vielem zu säubern, was ihr inzwischen, leichteren Sinnes, wie mir scheint, aufgebürdet worden. Ich hätte wahrlich nicht jahrelang mit der Publikation der von mir zuerst als Indolreactionen erkannten Erscheinungen bei der Eiweisszersetzung gewartet, nachdem Herr *Baeyer* bereits so freundlich gewesen, ihrer

Digitized by Google

in seinen berühmten Arbeiten über den Indigo zu gedenken, wenn ich das Indol sicher hätte als Spaltungsprodukt des Albumins bezeichnen können. Dazu durfte ich mich erst entschliessen, als ich dasselbe Produkt durch Einwirkung der Kalischmelze erhalten hatte, da es doch bedenklich war und überhaupt gewagter sein dürfte, als freilich gewöhnlich angenommen wird, alle Substanzen, welche unter ersichtlicher Einwirkung von Organismen entstehen, ohne Weiteres auf Rechnung des ihnen überlassenen Körpers zu setzen. In unserm Falle, wo die procentische Menge des gebildeten Indols gering ist, konnte vollends Niemand wissen, ob es dem Eiweiss oder irgend einer Substanz der Bacterienleiber, die gar kein Eiweiss zu sein brauchte, entstammte. Heute, wo das Indol der Kalischmelze von Herrn *Engler*, das der Bacterienfäulniss von Herrn *Nencki* analysirt ist, meine ich, trotz der zwischen dem Indol und dem auf erstere Weise erhaltenen Pseudoindol bemerkten Differenzen, jene Vorsicht aufgeben und annehmen zu können, dass Indol aus Eiweiss gebildet wird; dass es aber nur geschieht unter dem Einflusse der Bacterien, nicht des Trypsins, glaubte ich gezeigt zu haben, und hat bekanntlich bereits die mir sehr erwünschte Zustimmung Herrn *Nencki*'s, des gründlichsten Kenners der Eiweissfäulniss gefunden, welcher sich *Hoppe-Seyler* nach Kenntnissnahme des Folgenden hoffentlich auch noch anschliessen wird.

In Gegenwart von Salicylsäure, bei alkalischer Verdauung von Thymol, bildet sich unter richtigen Mischungsverhältnissen niemals aus Trypsin und Eiweiss Indol. So einfach dies zu beobachten ist und vermuthlich von Jedermann bestätigt gefunden wird, dürfte dagegen eingewendet werden, dass die genannten Desinfectionsmittel die Trypsinwirkung einschränkten, wie sie factisch die Entwicklung der Bacterien stören oder verzögern. Ich wende mich daher vorerst zu andern Versuchen, die ich ohne Desinfectionsmittel in grosser Zahl vorzunehmen vermochte, seit

Digitized by Google

es mir klar geworden, dass mit den allerfäulnissfähigsten Dingen weit leichter unbehelligt von Bacterien zu arbeiten ist, als man gewöhnlich annimmt. Es sind nämlich kaum mehr als zwei Bedingungen zu beachten: man muss 1) mit keimfreiem Materiale beginnen und 2) während der Dauer des Versuches eine glatte, unbewegte Oberfläche der Flüssigkeit zu erhalten wissen. Ausserdem ist noch die Jahreszeit zu berücksichtigen, da man im kalten Winter trotz der Brutwärme und geheizter Lokale manches wagen kann, was im Sommer Unheil bringt, ohne Frage deshalb, weil die Atmosphäre im Winter weniger reich an Organismen ist, als im Sommer, wo sie überall massenhaft erzeugt werden. Im Allgemeinen kann ich daher vorausschicken, dass mir vollkommen klare Eiweiss-, Pepton- und Enzymlösungen im Winter fast regelmässig bei mehrtägiger Digestion bacteriensauber bleiben.

Als Verdauungsobject dienten vorwiegend mit Pepsin bereitete, neutralisirte, vollkommen klar filtrirte Peptonlösungen, welche unmittelbar vorher gekocht worden, als Enzym ausser reinem Trypsin, dessen ich hier indess noch nicht gedenken will, frisch bereitete, ebenso durchsichtige Lösungen der Pankreasenzyme, wie man sie nach dem *v. Wittich-Hüfner*'schen Verfahren aus dem Glycerinextrakte durch Fällung und Waschen mit Alkohol und Auflösen des Niederschlages in H_2O erhält. Die Peptonlösung wird in dem Becherglase, worin sie gekocht worden, auf 40°C. abgekühlt, darauf die Enzymlösung zugemischt und die überragende innere Wand des Glases mit einem vollkommen reinen, weichen Tuche trocken gewischt, dann die Oeffnung mit Fliesspapier (niemals mit Glas) bedeckt. So habe ich es möglich gefunden, die Verdauung häufig ohne jede Spur von Fäulniss so lange durchzuführen, bis die oft mehr als 500 Cub. Cent. betragende Lösung nahezu verdunstet war. Man versteht, auf welche Umstände es dabei ankommt. Die Mischung ist anfänglich frei von

Digitized by Google

Bacterien, — ist sie es nicht, so geht der Versuch schon in den ersten Stunden unter Trübung und Entwicklung schlechter Gerüche verloren, — die Luft unter dem Papierdeckel ist es in vielen Fällen dagegen sicher nicht. Nun mögen häufig viele Bacterien auf die Oberfläche niedersinken; aber sie dringen nicht in dieselbe ein und wirken deshalb weder local zersetzend noch werden sie fähig neue Brut zu erzeugen. Schüttelt oder rührt man die Masse von Zeit zu Zeit, so kann man schon ziemlich sicher sein den Versuch zu verderben, ebenso, wenn man einen Glasdeckel auflegt, da von diesem Tropfen destillirten Wassers herunterfallen oder an den Wänden des Gefässes herabrinnen, dort befindliche Keime benetzen und hinunterführen, was vollends geschieht, wenn man einen Streifen Fliesspapier von der Glaswand in die Flüssigkeit tauchen lässt. Beginnt die Lösung sich durch Verdunsten zu concentriren, so bildet das Pepton an den Glaswänden einen so eigenthümlichen Firniss, der sich vermuthlich in ausserordentlich dünner Schicht bald über die Oberfläche der Lösung zieht, dass so wiederum ein Schutz entsteht. In solchen länger als eine Woche bei Brutwärme allmählich concentrirten Pepton-Enzymlösungen habe ich nun so häufig keine andere Trübung auftreten sehen, als die von auskrystallisirendem Tyrosin herrührende und sie so gänzlich geruchlos gefunden, dass mich das negative Resultat aller Indolreactionen nicht mehr überraschte, und gar kein Zweifel an der Unfähigkeit des pankreatischen Processes zur Indolbildung aufkommen konnte. Ich brauche nicht zu sagen, dass die eingedickten Reste von Leucin und Tyrosin starrten und von Bromwasser tief violet, fast schwarz gefärbt wurden. Mit Salzsäure und einigen Blasen salpetriger Säure behandelt, trat höchstens gelbe, niemals rothe Färbung auf, ebenso beim allmählichen Zusatze von NO_3H zur erwärmten Lösung, und wenn ich die Masse mit Aether ausschüttelte, so war in dessen Rückstande ebenso wenig etwas von Indol zu be-

Digitized by Google

merken. Dieses Resultat ergaben sowohl alkalische, wie neutrale und schwach essigsaure Verdauungsmischungen.

In ähnlicher Weise sind mir solche Versuche auch mit dem einfach durch kalten Alkohol und Aether vollkommen erschöpften Pankreas und gekochtem Fibrin geglückt, jedoch nur im Winter und indem ich Sorge trug die klumpigen Massen mittelst eines kleineren umgestürzten Becherglases, dessen nach oben sehender Boden tief unter dem Spiegel der Flüssigkeit lag, am Aufsteigen gegen die Oberfläche zu verhindern. Da das Verfahren jedoch umständlich ist und wenigstens vom 2.—3. Tage an häufig und wohl deshalb fehlschlägt, weil kleine weiche Flocken der Fibrinreste an die Oberfläche gelangen und diese im physikalischen Sinne für die Bacterien zugänglich machen, greife ich auf einen andern Versuch zurück, der zwar ursprünglich zu anderen Zwecken, als denen angestellt wurde, zu welchen er hier Verwendung finden wird.

Eine weithalsige, mehr als 500 Cub. Cent. fassende Retorte wurde mit bereits gekochtem Fibrin und etwa 250 C. C. H_2O beschickt und dazu in folgender Weise mit den Enzymen des Pankreas versehen. Die mit Alkohol und Aether erschöpften und an der Luft getrockneten Drüsenstückchen wurden etwas zerrieben, durch feine Haarsiebe abgeschüttelt, das feinste durchgegangene stäubende Mehl, das fast nur aus Drüsenzellen bestand (*v. Wittich*), nochmals mit ganz absolutem Alkohol geschüttelt, filtrirt und alkoholfeucht vom Filter in ein dünnwandiges Probirröhrchen gegeben, auf dessen Boden es wieder durch Alkohol zusammengetrieben wurde. Dann wurde das Röhrchen in passender Höhe vor der Lampe ausgezogen und, nach der Entfernung des Alkohols mittelst des continuirlichen Vacuums zugeschmolzen. So eingeschlossen kam das Drüsenpulver sammt einigen Platinstückchen zum Fibrin in die Retorte, welche darauf in der Mitte ihres Halses zu einer langen engen Röhre ausgezogen

Digitized by Google

wurde, der man zugleich eine solche Biegung gab, dass die Mündung senkrecht nach abwärts sah, wenn der Körper des Gefässes stark nach hinten geneigt, zum Kochen des Inhaltes geeignet stand. Jetzt wurde die untere nicht verengte Oeffnung durch einen langen Pfropf aus mit Alkohol und Aether gereinigter Baumwolle locker verschlossen, der Retorteninhalt langsam zum Sieden gebracht und darin länger als eine Stunde vorsichtig erhalten, indem man Sorge trug die Massen nicht bis in den Hals emporsteigen zu lassen. Als der Inhalt abgekühlt war, glückte es nach einigen Bemühungen das Röhrchen durch Stossen und Rütteln zu zertrümmern, so dass das ausgekochte Wasser die Enzyme in Lösung brachte. Der Retortenkörper wurde hierauf mit Hülfe des Trägers in einem grossen Wasserbade fixirt und erst eine Woche bei Brutwärme gehalten, dann für lange auf einen Schrank gestellt und gelegentlich wieder einige Tage erwärmt, endlich nach etwa 3 Monaten wieder eine Woche erwärmt und dann erst untersucht. Der Inhalt hatte sich kaum concentrirt und bestand aus einem lockeren, die Glassplitter bedeckenden Bodensatze, worin weisse Tyrosinwarzen zu sehen waren, darüber aus klarer bräunlich gelber Flüssigkeit. Der obere Theil des Wattepfropfes war stark benetzt, ebenso der enge Theil des Halses, weniger der obere weite, aber alle diese Tropfen destillirten Wassers waren klar. An dem jetzt entleerten Inhalte war nicht der mindeste üble Geruch bemerkbar, und die sofort vorgenommene mikroskopische Untersuchung zeigte wol amorphe Körnchen zwischen den Tyrosinkrystallen, aber nirgends Bacterien oder Mikrococcen. Die Verdauungsprodukte in der Lösung waren die bekannten, die Färbung mit Bromwasser colossal, aber NO_3H, HCl und salpetrigsaures Kali erzeugten keine Röthung, und ein mit HCl befeuchteter Fichtenspahn, mit der Lösung getränkt, färbte sich kaum grünlich gelb.

Mehrere Wiederholungen des Versuches, bei welchen die

Digitized by Google

Digestion nach 1 Monat, nach 14 Tagen und nach 7 Tagen unterbrochen wurde, ergaben die nämlichen Resultate, was besonders hinsichtlich des Ausbleibens der Bacterien hervorzuheben ist.

Es sei mir zu dem Berichte über diesen zuerst im Sommer 1873 angestellten Versuch zu bemerken gestattet, dass er weniger in der Absicht angestellt worden, das Fehlen des Indols nach wochen- und monatelanger Wirkung sämmtlicher Pankreasenzyme darzuthun, obwohl ich ihn bereits einmal in diesem Sinne verwerthete, (Ber. d. deutsch. Chem. Gesellschaft VIII. S. 208), sondern dass er ursprünglich unternommen wurde, um zu zeigen, dass sich unter Umständen, wo sonst Bacterien am sichersten und massenhaftesten entstehen, keine bilden, wenn man das Hineinkommen atmosphärischer Organismen in die zu Anfang keimfreie Mischung sicher verhütet. Ich hatte nach demselben, von *Mitscherlich*, von *v. Dusch* und *Schroeder* herrührenden, von *Pasteur* weiter ausgebildeten Principe bereits die unverdient berühmt gewordenen Versuche von *Bastian* und *Huizinga* über Urzeugung nach deren Recepten wiederholt, wie ich kaum zu sagen brauche, immer mit negativem, dem jener Autoren entgegengesetztem Erfolge und ich hatte es ausdrücklich in der eben geschilderten Weise bezüglich des Abschlusses gethan, weil ich wusste, dass es kein besseres Mittel gibt Bacterien aus der Atmosphäre in gekochte Flüssigkeiten schlüpfen zu lassen, als die *Huizinga*'schen Thonplatten, von welchen man nach einiger Zeit immer trübe Tropfen oder Streifen sich in den Hals der Kolben ziehen sieht, welche ihre Bacterien durch die Poren des feuchten Deckels bezogen und die Infection nach abwärts leiten. Da *Huizinga* gegen Versuche in geschlossenen, obschon mit Luft gefüllten Kolben, welche die zur Abiogenesis möglicherweise nöthige Ventilation ausschlössen, protestirt, dürfte sich das geschilderte Verfahren, bei dem der Wattepfropf dafür gewiss kein grösseres Hinderniss, als die Thonplatte war, noch besonders empfehlen.

Digitized by Google

Den Versuch später auch bezüglich der Mischung zu ändern und mit der gleichzeitigen pankreatischen Wirkung zu verbinden bewog mich ausser der besonders günstigen Mischung, die damit erfahrungsmässig für das Leben der Bacterien nach und nach hergestellt wird, der Wunsch einmal nachzusehen, ob es vielleicht Urzeugung gebe, wenn einige durch Kochen veränderliche Stoffe, die bisher in allen derartigen Experimenten ausgeschlossen worden, zugegen wären. Nirgends konnte ich eine so grosse und vielartige Sammlung solcher Stoffe finden, als in dem pankreatischen Drüsenpulver, das in die etwas steriler, als es der Gegenstand mit sich bringt, werdenden Versuche über Urzeugung, wie mir schien, einen neuen Factor einführte, welcher bisher nicht blos durch das Kochen, sondern auch durch den Abschluss, wie durch das Filtriren oder Glühen der Luft, bevor man sie zutreten liess, immer ausgeschlossen blieb. Wenn Urzeugung besteht, sagte ich mir, und Diejenigen Recht haben, welche allen Organismen Enzyme zuschreiben, so wird die Zeugungsmischung ausser Eiweiss, Pepton, Leim, Salzen u. s. w. auch wol noch der Enzyme bedürfen, um an's Werk gehen zu können, und nichts leisten, wenn dieselben auf die eine oder andere Weise vernichtet oder fern gehalten sind. Dieser Umstand war nie beachtet und konnte den atmosphärischen Staub, auf den so viel ankam, noch in ganz anderem Sinne wirksam erscheinen lassen, als weil er Keime oder Organismen zutrug. Wie die sog. Fermentsplitter, an die hier gerührt wird, früher so leicht abgethan werden konnten, blieb mir immer unverständlich, da es doch keinem Zweifel unterliegen kann, dass die überall vorkommenden thierischen Excrete solches Material beim Eintrocknen hinterlassen und schliesslich mit dem Staube der Luft reichlich zubringen müssen. Indess sieht man, dass es mit der zeitgenössischen Urzeugung auch mit diesen Zuthaten wiederum nichts ist; ich meinerseits sah darin nichts unerwartetes, wohl aber fand ich durch meinen Versuch, was ich lange bündig zu

Digitized by Google

erweisen getrachtet, dass die Pankreaswirkung eine total andere ist, als die der Bacterien und mit der Fäulniss und Verwesung nicht identificirt werden darf*).

Ich wende mich zu einer anderen Seite der Frage, nämlich der, ob es ausser dem Pankreas irgendwo Enzyme gebe, welche mehr leisten als dieses, welche also entweder den durch Trypsin nicht angreifbaren, von mir Antipepton benannten Antheil des Peptons und die aus dem Hemipepton stammenden Produkte, Leucin, Tyrosin u. A. zersetzen, oder, um eins, das am leichtesten nachzuweisen ist, herauszugreifen, aus Eiweiss schliesslich Indol bilden. Es liegt mir fern dies von vornherein leugnen zu wollen zu einer Zeit, da wir durch *Hooker*, *Darwin* und viele Andere selbst an den Pflanzen eine so grosse Zahl neuer Enzymwirkungen kennen lernen, aber ich muss mit Bestimmtheit behaupten, dass es bis jetzt von Niemanden constatirt worden, und dass Herrn *Hoppe-Seyler* nur seine Verachtung mikroskopischer Untersuchungen dahin geführt hat es zu behaupten, und statt der Bacterienwirkung anzunehmen, wo er in wenigen Minuten zahlreiche Bacterien hätte sehen können. Jene unglückliche Beobachtung, dass Fibrin bei längerem Stehen unter Aether nach Indol zu riechen und zu zerfallen beginnt, ist es gewesen, welche Enzyme in den Ruf der Indolbildung gebracht hat. Hätte Herr *Hoppe-Seyler* nur ein einziges Fibrinklümpchen durch den Aether gehoben und mit dem Deckglase zerdrückt, so wäre jedes Mikroskop gut ge-

*) Da der obige, zuerst im Sommer 1873 angestellte Versuch die Kenntniss der Unzerstörbarkeit trocknen Trypsins bei 100° C. voraussetzt, kann ich nicht umhin zu erwähnen, dass ich mit dem Factum einige Jahre eher bekannt war, als es von Herrn *Salkowski* durch besondere und anders, als die von mir angestellten Versuche constatirt und veröffentlicht wurde. Damit einen Prioritätsanspruch zu verbinden, finde ich natürlich keinerlei Recht oder Anlass; ich hebe vielmehr ausdrücklich hervor, dass mir die Thatsache z. Zt. der Mitwirkung Herrn *Salkowski*'s am hiesigen Laboratorium im Jahre 1871—72 noch nicht bekannt war.

Digitized by Google

wesen ihn von seinem Irrthume, dass der Aether ein absolutes Mittel sei das Leben niederer Organismen zu vernichten, zu befreien. Ich glaube dies mit um so grösserer Bestimmtheit sagen zu dürfen, weil ich selbst vor vielen Jahren eine so gute Meinung von der desinficirenden Wirkung des Aethers hatte, dass ich vielfach Mischungen aller Art und Consistenz mit Aether zur Verhütung der Fäulniss zu überschichten pflegte und manchen Versuch über Trypsinverdauung so anstellte, bevor uns die Salicylsäure und das Thymol zu solchen Zwecken beschert wurden. Bis zum Jahre 1869 habe ich sogar, durch den Aether getäuscht, die Meinung gehabt, das Blut enthalte Spuren von Trypsin, denn ich hatte in unter Aether länger als 1 Jahr bewahrtem Hundeblute einen Bodensatz der schönsten, zu dicken Drusen zusammengewachsenen Tyrosinkrystalle gefunden, während ich niemals durch sofortiges Auskochen oder Behandeln mit Alkohol eine Spur dieses Körpers aus frischem Blute hatte gewinnen können. Für mich war dies die erste Veranlassung geworden, die desinfectorische Wirkung des Aethers zu prüfen, und ich fand, dass derselbe in der That zu manchen, nicht zu lange währenden Versuchen brauchbar ist, wenn vorher keine Infektion bestand, so dass ich mich noch heute des Mittels öfter bediene, wenn die zuverlässigeren aus irgendwelchen Gründen nicht anwendbar sind. Dass der Aether jedoch über eine einigermaassen merkliche Anfangsinfection wenig vermag und die Ausbildung colossaler Bacterienzucht nicht verhindert, sieht man leicht an einem beliebigen schlachtfrischen Pankreas, nachdem es mit wenig Wasser zerrieben, erst mit Aether geschüttelt, in Cylindern fusshoch damit überschichtet worden. Im Sommer findet man den Drüsenbrei darunter schon in 24—48 Stunden missfarben und in jedem herausgenommenen Tropfen so mit Bacterien durchsetzt, wie in der üppigsten Fäulniss. Nach solchen Erfahrungen zu erwarten, dass ungekochtes Fibrin, welches während des Auswaschens so gute Gelegenheit

Digitized by Google

sich zu inficiren findet, mit Wasser unter Aether bewahrt, sterilisirt werde und nicht nach längerer Zeit die Folgen der Entwickelung der anfänglich mitgebrachten Organismen zeige, berechtigt nichts und wird, wie erwähnt, durch die mikroskopische Untersuchung widerlegt zur Zeit, wo die grösseren Flocken anfangen zusammenzusinken, und der Aether wie das Wasser deutlich nach Indol riechen und dessen Reactionen geben. Lässt man die Präparate jedoch sehr lange, mehr als 6 Monate bis 1 Jahr in gut verschlossenen Gefässen stehen, so ändert sich das Aussehen: der Aether und das Wasser werden gelb und die untere ungelöste Masse etwas dunkler grau. Zu dieser Zeit fand ich statt des Indolgeruches einen hyazintartigen und in dem Brei am Boden zwischen den amorphen, natürlich in Molekularbewegung befindlichen Körnchen nichts mehr, das ich mit Sicherheit für Bacterien halten konnte. Wer zu dieser Zeit erst untersucht, kann allerdings Täuschungen unterliegen, aber ich möchte dann fragen, was uns vorauszusetzen berechtigt, dass Bacterien, also Organismen in ihrer eigenen Brühe ewig aushalten. So habe ich denn keinen Zweifel, dass *Hoppe-Seyler* von dem Dogma der absoluten desinfectorischen Wirksamkeit des Aethers von dem Tage an zurückkommen wird, wo er das unter Aether gehaltene Fibrin auf der Höhe des indolbildenden Processes mikroskopisch untersucht haben wird. Dass der Vorgang durch den Aether hinausgeschoben, die Bacterienzucht überhaupt verlangsamt werde, bleibt unbestritten, und der Aether daher überall zulässig, wo man ungekochtes Fibrin für kurze Zeit brauchbar erhalten will.

Es bleibt noch die Angabe *Hoppe-Seyler*'s über Leucin- und Tyrosinbildung ohne Bacterien in einigen Transsudaten zu erörtern. Ich habe mich darüber bereits geäussert (Verh. d. Nat. Med. Vereins z. Heidelberg 1877, Bd. II. S. 1) und finde wol Zustimmung, wenn ich die Beobachtung des Auftretens jener Körper an einfach in Glasröhren eingeschmolzenen Transsudaten

Digitized by Google

nicht als Beweis annehme, dass darin Pankreatin und keine Bacterien enthalten gewesen. Wer sich an dem, jeden Tag, ohne Aufgeben des Versuches zugänglichen Fibrinpräparate unter Aether täuschte, wird erst zu beweisen haben, dass er die Untersuchungszeit an den eingeschmolzenen Objecten nicht verpasste. Ich selbst habe manche zum Theil durch Punction entleerte, klar filtrirte Transsudate des Pericardium, der Pleura und der Bauchhöhle, wie sie mir gerade zukamen, in jener Weise eingeschlossen, aber allemal Bacterien darin gefunden, wenn sie nach dem Oeffnen übel rochen, was ich ziemlich sicher vorauswusste, wo die eigenthümliche, unverkennbare Trübung darin aufgetreten war. Damit soll indess nicht gesagt sein, dass Transsudate niemals Trypsin enthalten werden, sondern nur, dass es bisher nicht festgestellt sei. Für die von mir in nicht geringer Zahl untersuchten Transsudate, die ich gelegentlich bearbeitete bei einer sehr ausgedehnten Untersuchung über alle Säfte und Gewebe des Thierleibes, in der Absicht nachzusehen, wo das mit dem Pankreassekrete in den Darm ergossene Trypsin bleibe, muss ich jedoch angeben, dass jene Flüssigkeiten ebensowenig Spuren davon aufwiesen, wie die normalen Säfte und Gewebe. Wer den Einwand, welchen *Hoppe-Seyler* gegen das Misslingen der Extraktion des Pankreatins aus Bacterien vorbringt, zulassen will, wird denselben für die bei den Transsudaten und hier im Allgemeinen befolgte Methode fallen lassen müssen, da das Verfahren einfach im Ausfällen durch viel Alkohol, vollkommenes Waschen damit, Extrahiren mit Aether und Lösen der gereinigten Fällung in Wasser, in nicht zu concentrirtem Glycerin oder in Sodalösung von 1 pCt. bestand. War Pankreatin (Trypsin) vorhanden, so musste es so gewonnen und einigermassen isolirt werden, aber ich habe bei keinem dieser Versuche Wirkung auf rohes Fibrin oder auf Pepton bemerken können.

Um auf die Differenz zwischen Bacterien- und Trypsinwir-

Digitized by Google

kung zurückzukommen, füge ich noch einen, wie mir scheint, sehr wesentlichen Umstand hinzu: alle Trypsinverdauung lässt einen Theil des Peptons, das ich als Antipepton bezeichnete, unangetastet. Man mag letzteres noch so oft mit immer neuen Mengen Trypsins behandeln, und man wird sich überzeugen, dass weder etwas davon verloren geht, noch dass weiterhin Leucin, Tyrosin oder Spuren des mit Brom violet werdenden Körpers auftreten. Inficirt man die Lösung des Antipeptons mit Bacterien, so stellen sich alsbald neue Tyrosinkrystallisationen ein und der Indolgeruch gesellt sich dazu. Endlich wird durch Trypsin aus Leim weder Glycocoll noch Leucin gebildet, durch Bacterien das letztere wenigstens immer in solcher Menge, dass es leicht nachzuweisen ist. Welches Recht kann es also noch geben, Pankreas- und Bacterienwirkung zu identificiren?

Die Untersuchungen *Nencki's* ergeben, welche ungeheure Fülle von Produkten bei der Zersetzung des Albumins durch Bacterien auftritt und wie tiefgreifend dieselbe gegenüber der pankreatischen sein muss. Nicht nur wird das Antipepton mit in die Spaltung gezogen, sondern diese erstreckt sich auch alsbald auf die ersten Abkömmlinge der Peptone, so dass das Leucin und das Tyrosin auch angegriffen werden und neben flüchtigen Fettsäuren, Derivate der aromatischen Stoffe, NH_3, Nitrite, ausserdem SH_2 entstehen. Hätte *Hoppe-Seyler* nicht aus der fälschlichen Meinung, dass eines der letzten Spaltungsprodukte, das Indol eben, durch Pankreaswirkung entstehe, seinen Schluss von der Identität dieser mit der den Bacterien zukommenden, gezogen, so wäre es ihm unbenommen geblieben, in die Organismen ausser der ersteren eine oder mehrere darauf folgende zu verlegen, die nach der tryptischen beginnen könnten. Mir scheint indess, dass sich auch diese Ansicht, soweit sie neben anderen Enzymen ein erstwirkendes mit dem Trypsin identisches annimmt, widerlegen lässt. Geht man auf den Gedanken ein, Trypsin existire

Digitized by Google

in den Bacterienleibern, obwohl so darin eingesperrt, dass es absolut nicht zu extrahiren ist, so wird man doch annehmen müssen, dass es um für identisch mit dem des Pankreas erachtet werden zu können, mindestens die gleiche Indifferenz gegen eine Anzahl dieses nicht berührender Eingriffe besitzen müsse. Trypsin wird nun durch Alkohol-Aetherbehandlung nicht verändert; ich sah darum nach, ob die Bacterien es würden, indem ich nicht wie früher filtrirte wässrige oder Glycerinextrakte von den mit Alkohol und Aether gewaschenen Bacterienmassen, sondern die letzteren in Substanz anwendete. Da ich mich gleich überzeugte, dass sie nach solcher Behandlung mit H_2O oder Soda von 1 p. Ct. aufgeschlemmt zu gekochten oder rohen Fibrin gethan durchaus keinen Zerfall oder Lösung der Flocken bewirkten, so nahm ich in Rücksicht auf die Meinung von dem absoluten Abschlusse des Enzyms in den Organismen eine diffusible Substanz, um diese in die Bacterien hineindringen zu lassen. Allein so oft ich neutrale oder alkalisirte Peptonlösungen mit der genannten Materie digerirte, habe ich daran nach 5—8 Stunden niemals Bildung von Tyrosin oder Verstärkung der Brom- oder Chlorreaction gesehen. Um darin sicher zu gehen, wurden die Versuche in zwei Weisen durchgeführt, einmal mit der noch etwas Tyrosin enthaltenden und die Bromreaction merklich gebenden Masse, das andremal mit dem unlöslichen Rückstande, der mir nach gründlichem Waschen jener mit Wasser übrig blieb, und der in der That frei von jenen Beimengungen gefunden wurde. In der ersten Versuchsreihe war aus dem Pepton durch sorgfältiges Fällen und Auskochen mit Alkohol Tyrosin zu erhalten, aber so wenig, dass keinem Kenner der Trypsinverdauung einfallen konnte, darin etwas Anderes zu sehen, als das mit dem reichlich zugesetzten Bacterienmateriale von Anfang an zugesetzte. Eine Probe der Mischung vor Beginn der Digestion, mit Bromwasser bis zum Maximum der in dieser Verdünnung eben kenntlichen Violetfär-

Digitized by Google

bung versetzt, erwies sich mit einer anderen nach 8 Stunden vorgenommenen vollkommen gleich. Nach dem zweiten Verfahren wurde endlich weder irgend eine Spur von Tyrosinkrystallen noch Andeutung der Färbung mit Chlor oder Brom erhalten.

Schliesslich wurde die Bacterienwirkung noch unter Vermeidung von Alkohol und Aether mit der des Trypsins verglichen. Ich filtrirte von dem schwärzlichen Bacteriensatze mit der *Bunsen*'schen Pumpe so viel ab, als auf dem Filter nach dem Durchgehen grösserer Mengen blieb, wusch dasselbe einmal mit Wasser aus, vertheilte eine Hälfte des Schlammes in Salicylsäure von 1 p. m., die andere in Sodalösung von 1 Proc., die ich mit so viel Thymol versetzt hatte, dass 1 Proc. davon theils gelöst, theils fein suspendirt war. In beide Proben gab ich sowohl rohes, wie gekochtes Fibrin und digerirte zunächst 24 Stunden. Da in keinem der Gläser der charakteristische Zerfall des Fibrins erfolgen wollte, so wusste ich bereits, dass kein Trypsin gewirkt haben konnte, und da sich dies nach mehreren Tagen in der Brutwärme nicht änderte, wurde zu Versuchen mit Peptonlösungen übergegangen um damit zu dem vermeintlichen, an das ungelöste Fibrin nicht heranzulockenden Enzyme zu dringen. Es wurde dazu eine grössere Menge des abfiltrirten, aber gründlicher als früher gewaschenen Bacterienschlammes genommen, die Peptonlösungen auf den richtigen Gehalt an Salicylsäure oder an Soda und Thymol gebracht, der mit denselben Mischungen seit zwei Stunden angerührte Schlamm hinzugefügt und mehrere Tage erwärmt. Die auf das Sorgfältigste ausgeführte Untersuchung ergab an den Peptonlösungen keine Veränderung: sie rochen nicht, oder nur etwas nach Thymol, gaben keine Indolreactionen, keine Färbung mit Bromwasser, kein Leucin, kein Tyrosin. Da es nicht überall in dieser Darstellung ausdrücklich gesagt ist, wird hier nachgeholt, dass unter in Verdauung gegebenen Peptonlösungen, immer die durch tyrosinfreies Pepsin

Digitized by Google

gewonnenen des Amphipeptons gemeint sind. — Jetzt wird die Frage gestattet sein, was es für ein Trypsin oder Pankreatin sein solle, das *Hoppe-Seyler* den Bacterien zuschreibt, wenn so zahlreiche Prüfungen niemals Uebereinstimmung, sondern nur Verschiedenheiten ergeben und die letzten Beobachtungen feststellen, dass die Bacterien in zwei guten Desinfectionsmitteln, die ich alltäglich mit dem Trypsin ohne Schaden für dieses verwende, unwirksam machen.

Die Zersetzung der Albumine durch Trypsin hat überall Bestätigung und Verwendung gefunden, während merkwürdiger Weise einige eifrige Mitarbeiter auf dem Gebiete bemüht sind, ihr und sich selbst den Boden zu entziehen. Mit immer neuem Erstaunen liest man in jeder Auflage der physiologischen Chemie von *v. Gorup-Besanez*, das Pankreas zersetze Eiweissstoffe und doch die Bemerkung, der früher viel erwähnte reiche Gehalt der Drüse an Leucin und Tyrosin sei keineswegs widerlegt. *v. Gorup-Besanez* war bekanntlich mit Anderen an der Untersuchung bei mittlerer Temperatur langsam extrahirter Pankreas betheiligt und hatte so ausser enormen Mengen Leucin und anderen Amidosäuren auch das Tyrosin daraus gewonnen. Von dem Tage an, wo durch *Radziejewsky* und durch mich gezeigt wurde, dass frisch mit Alkohol behandeltes oder gekochtes Pankreas kein Tyrosin und nur sehr geringe Mengen Leucin giebt (was *von Gorup* unbegreiflicher Weise für eine Bestätigung der Angabe *Scherer*'s, dass 7 p. Ct. des trocknen Pankreas aus Leucin bestehen, erklärt), vollends von dem Augenblicke an, wo ich nachwies, dass Pankreas mit Fibrin digerirt mehr, als sein eigenes Gewicht Tyrosin liefert, hätte Niemand als die ersten Bearbeiter der Pankreaschemie mehr Veranlassung gehabt, neue Versuche über den Gegenstand zu bringen und einzusehen, dass

Digitized by Google

man um so ernste Differenzen nicht mit Behauptungen herumkommt, wie die von *v. Gorup-Besanez* gewählte, dass es unmöglich sei, der Drüse auf unsere Weise das Tyrosin zu entziehen. Wie grade dieser Autor, der dasselbe Verfahren für das Glycogen in der Leber empfiehlt, und der es weiss, wie kostbar und kaum umgänglich die Methode für den Nachweis der Praeexistenz vieler Stoffe in Organismen ist, dazu kommt jenen Einwand bei dem im Gegensatze zum Glycogen diffusibelen Tyrosin zu erheben, ist fast schwerer verständlich, wie dass er den folgenden Versuch unterliess, den ich mich schwer entschliesse, ihm abzunehmen. Es gab ja ein ganz einfaches Mittel, ein Pankreas an jeder cadaverösen Zersetzung zu hindern und es dennoch so gut, ja weit vollkommener in Lösung zu bringen und zu extrahiren, als es jemals durch längere Selbstverdauung geschieht. Zu dem Ende zerrieb ich die lebenswarme Drüse entweder sofort mit Glaspulver und absolutem Alkohol oder kochendem Wasser, untersuchte das Gelöste, wie kaum wieder zu sagen nöthig, vergeblich auf Tyrosin und digerirte das Ungelöste mit (tyrosinfreiem) Pepsin und HCl von 4 p. m., worin es mit Hinterlassung einiger Nucleïnreste der Kerne vollständig zerging. Da bei der Selbstverdauung durch das aus den Drüsenzellen kommende Trypsin die gleichen Reste, ausserdem aber das ganze Collagen des Bindegewebes ungelöst übrig bleiben, während das letztere vom Magensafte gelöst wird, so sieht man, dass das Verfahren mehr leistet, als irgend ein früher verwendetes. Die damit erzielte Peptonlösung habe ich in der üblichen Weise auf Tyrosin und Leucin untersucht, aber durchaus nichts davon zu finden vermocht, während die sehr geringen Mengen des Leucins nicht hier, sondern wie früher in dem Kochextracte gefunden wurden. Ich erwarte zuversichtlich nicht in meinem, des Autors Interesse, das Niemanden angeht, (obwohl ich weiss, dass Herr *von Gorup-Besanez* auch für solche

Digitized by Google

wirken will*), sondern in dem der Wahrheit und der Wissenschaft, dass der in Rede stehende Einwand, welcher lernende Leser in Irrthümer führt, zurückgezogen werde, nachdem seine Verurtheilung mir überlassen wurde.

Gefährlicher für die allgemeine Anerkennung der Trypsinwirkung, als der eben widerlegte Einwand, dürften die Versuche von *Hüfner* sein (Journal für prakt. Chem. N. F. Bd. 5. S. 372), obwohl der Autor keine Ahnung davon zu haben scheint, sondern mit solchem Vertrauen auf die Richtigkeit meines Befundes an die Sache ging, dass er ihn als allgemein gültig und anerkannt meiner Verantwortlichkeit gänzlich enthob. Indem *Hüfner* das *v. Wittich*'sche Verfahren der Glycerinextraction auf mit Alkohol behandelte Pankreas in der verbesserten Weise anwendete, welche dem durch Alkohol im Glycerin erhaltenen Niederschlage die wesentlichen Wirkungen der Drüsensubstanz erhielt und das Produkt wiederholter Lösung und Fällung unterwarf, meinte er das reine sog. ungeformte Ferment erhalten zu haben.

Die Folgezeit hat gelehrt, dass die von *Hüfner* isolirte Materie das reine Enzym nicht ist. Ganz abgesehen davon, dass sie neben dem Trypsin auch das zuckerbildende einschliesst, meine ich, dass die Substanz schon von Dem, der sie analysirte und der darauf eine philosophische Betrachtung über ungeformte Fermente gründete, gleich verdient hätte noch anders, als durch Verbrennung untersucht zu werden. Wenn ich *Hüfner's* Speculationen richtig verstehe, so haben sie zur Basis die Unveränderlichkeit und Erhaltung der Enzyme im Laufe ihrer Wirkung. Diesen von *Brücke* aus seinen bekannten Untersuchungen über das Verhalten des Pepsins gezogenen Schluss verallgemeinern zu dürfen, war gewiss ein würdiger Gegenstand ernster Bemühungen, um so mehr, als Erfahrungen über das Verhalten des Ptyalins bei der

*) Ber. d. D. chem. G. X. Jahrg. Heft 8. Vergl. d. Umschlag!

Digitized by Google

Zuckerbildung und selbst einzelne Beobachtungen am Pepsin die allgemeine Geltung des *Brücke*'schen Satzes in Zweifel zu ziehen schienen. Indess ist es mir leider unmöglich gewesen, einzusehen, in welcher Verbindung die procentische Zusammensetzung des sog. Pankreatins mit dieser Frage stehe und nicht minder unverständlich, wesshalb *Hüfner* im Besitz, wenn nicht des reinen, so doch eines besser gereinigten Enzyms, als es Jemand vor ihm aus dem Pankreas kennen gelehrt hatte, jeden Versuch des Nachweises unterliess, dass es bei der Wirkung unverändert bleibe. Das letztere hätte um so mehr geschehen müssen und geschah desshalb durch mich, als nur so zu beweisen war, dass der Körper Fibrin nicht nur zu Peptonen löse, sondern diese z. Th. weiter unter Leucin- und Tyrosinbildung zersetze, denn thatsächlich liegt die Sache so, dass der *Hüfner'sche* Körper denselben Vorversuch erfordert, dessen ich früher bei Verwendung der Drüsensubstanz benöthigt gewesen. Beide besitzen, weil sie Mischungen Trypsin gebender Stoffe mit Albuminen sind, sog. Selbstverdauung und der erstere liefert dabei auch so colossale Mengen an Leucin und Tyrosin, dass deren Bestimmung unerlässlich wird, wenn man nach der Verdauung nur zeigen will, dass zugegebenes Fibrin einen Antheil daran gehabt habe. Hätte Herr *Hüfner* dies gesehen, so war seine Substanz entweder als unrein erkannt, also der Analyse unwerth, oder es war eine Thatsache bemerkt, welche die Basis des speculativen Theiles der *Hüfner'schen* Abhandlung in ihr Gegentheil verkehrte. Ich habe lange zu *Hüfner's* Ausführungen geschwiegen, obwohl mir das, was ich eben zu sagen fand, vor dem Erscheinen derselben schon bekannt war, weil ich die Aufstellungen *Brücke's* für so fundamental in der Lehre von den Enzymen halte, dass ich nicht eher mit meiner Auffassung hervortreten wollte, als bis es mir gelungen war aus sog. Pankreatin das e i n e Enzym darzustellen, das ich jetzt Trypsin nenne und welches keine Spur pankreatischer Selbstverdauung besitzt.

Digitized by Google

Spätere Abhandlungen werden über meine darauf bezüglichen, seit einiger Zeit abgeschlossenen Untersuchungen berichten.

Wie wenig ich mich mit dem eben besprochenen Theile der *Hüfner*'schen Arbeit zu befreunden vermochte, so bereit bin ich deren Bemühungen den pankreatischen Verdauungsversuch unter Ausschluss der Bacterienfäulniss (l. c. Bd. 10. S. 1) vorzunehmen, zu schätzen. Es kann in dieser Hinsicht nicht genug geschehen, obwohl kein Erfahrener übersehen hat, dass die Bacterienwirkung selbst an ungekochtem Fibrin meist in Tagen erst leistet, was das Trypsin oder das Pankreas oft scheinbar momentan, im ungünstigsten Falle in 3—5 Stunden hinsichtlich der Auflösung und Peptonbildung zu Wege bringt. Ist indessen erst einmal Pepton gebildet, so wird nicht nur die Entwicklung erstaunlicher Mengen von Bacterien ungemein begünstigt, sondern auch deren zersetzende Wirkung auf ein reichlich vorhandenes und wegen seiner Löslichkeit und Diffusibilität dazu sehr geeignetes Object gerichtet, so dass es von diesem Augenblicke an hinsichtlich der weiteren Produkte sehr fraglich wird, was dem Trypsin und was den Bacterien zuzuschreiben ist. Herrn *Hüfner*'s unter möglichstem Ausschlusse der Bacterien mit dem von ihm dargestellten Rohenzyme erhaltenes Resultat, dass die länger digerirte Masse geruchlos bleibt, wird daher jeder Zeit schätzenswerth sein.

Eingestanden oder stillschweigend entnimmt die Annahme der Enzyme in Bacterien einen ihrer Gründe den bekannten Versuchen von *Helmholtz* über das Durchgreifen der Fäulnissprozesse durch Membranen (*Müller*'s Archiv. 1843. S. 453). Ich habe dieselben in folgender Weise ausgeführt. Noch warme Muskeln des Hundes wurden in kleine Stückchen zerschnitten, mit Wasser angerührt und starke Probirröhrchen zu $^2/_3$ damit angefüllt. Hierauf wurden deren Oeffnungen

Digitized by Google

mit in Alkohol conservirter, in Wasser wieder erweichter Schweinsblase so vollkommen wie möglich verbunden. Einige Röhrchen erhielten darüber oder darunter noch einen Schutz von starkem vegetabilischen Pergament. Darauf wurden die Röhren in ein tiefes Wasserbad, mit der Mündung nach unten versenkt und einige Zeit im Kochen erhalten, was bei dem Pergamentschutze lange auszuführen war, bei dem durch Blase allein hergestellten alsbald seine Grenze an dem Zerkochen der Membran fand. In welcher Weise der Verschluss wirkte, liess sich beim Abkühlen beurtheilen, denn es fing in jeder Röhre das Sieden wieder an und wirbelte die Fleischstückchen empor, wenn man sie etwas aus dem noch heissen Bade emporhob, so dass der obere Theil sich abkühlte; nach dem Erkalten waren die Membranen anfangs überall stark nach innen eingebogen. Die Röhren wurden mittelst einer Glasschaale, welche etwas von dem abgekühlten Kochwasser aufnahm, so herausgenommen, dass die Mündungen fortwährend eingetaucht blieben, jede Röhre im Halter fixirt, das innere Niveau bezeichnet, rohe Fleischstückchen in das äussere Wasser gethan und das Ganze bei 30° bis 35° C. erhalten. Der Eintritt der Fäulniss war aussen nach 24 Stunden schon bemerkbar, sowohl an dem Geruche, wie an den ziemlich reichlich in der äusseren Flüssigkeit enthaltenen Bacterien; doch war die Reaction noch sauer. Jenseits der Membranen war nichts Auffälliges zu sehen, das Niveau unverändert oder hie und da theils gesunken, theils ein wenig gehoben. Am folgenden Tage reagirte der äussere, schön rothe, aber stinkende Brei, deutlich alkalisch, und im Innern der Röhren hatten neu entwickelte Gase das Niveau überall herabgedrückt und die Membranen merklich nach aussen gebogen. Man sah auch, wie es *Helmholtz* beschreibt, Gasbläschen an den grauen gekochten Fleischstücken hängen und beim Aufstossen grössere Blasen von der Membran und den untersten Stücken nach aufwärts steigen. Es wurden jetzt einige Röhren herausgenommen, in

Digitized by Google

der gleichen Stellung aussen und am Verschlusse sehr sorgfältig abgewaschen und der Inhalt untersucht. Derselbe reagirte überall sehr deutlich sauer, roch höchst unangenehm faulig, weniger nach Indol, als nach den eigenthümlichen Stoffen faulender Theile des Hundes und enthielt nur in einer der Röhren unzweifelhaft grössere Mengen von Bacterien, die sich sowohl in der seifenartig schmierigen Masse, welche die Membran (Blase) innen bedeckte, wie unter den an der Oberfläche schwimmenden Fetttröpfchen, weniger in der Flüssigkeit selbst befanden. An den andern beiden Röhren war die Infection mit Bacterien jedenfalls zweifelhaft. Der Rest der Röhren wurde am 3. und am 4. Tage untersucht, wo auffälliger Weise nur in einer alkalische Reaction zu sehen war. In allen hatte sich viel Gas entwickelt und entsprechend Flüssigkeit hinausgedrängt und überall waren Bacterien reichlich zu finden. Will man keine Urzeugung annehmen, so kann man hiernach nicht zweifeln, dass diese kleinen Organismen poröse Membranen durchdringen, Blase wohl am leichtesten, da ich diese stark damit durchsetzt und erweicht fand. Aber die Bacterien dringen auch durch gute Verschlüsse von Pergament und sicher nicht durch gröbere Oeffnungen, welche die Fadenhülse z. B. enthalten könnte, die solche Verschlüsse nöthig machen, denn wenn dergleichen in den genannten Versuchen vorgekommen wären, hätte dies am Uebertreten des reichlich in der tiefrothen Aussenflüssigkeit enthaltenen Hämoglobins bemerkt werden müssen, was nirgends zu sehen war. Es bleibt also nur zu erörtern übrig, woher die anscheinenden Zeichen von Fäulniss im Anfange rühren, zur Zeit, wo jenseits der Membran noch keine Bacterien nachzuweisen sind, also der schlechte Geruch und die Gasentwicklung; der erstere dürfte auf Diffusion der riechenden Stoffe, die letztere auf dem Uebergange von Kohlensäureverbindungen, namentlich des aussen entstandenen kohlensauren Ammoniaks beruhen, das durch die

Digitized by Google

Membran an eine saure Flüssigkeit und zu den sauer reagirenden Fleischstückchen diffundirte. So erklärt sich auch das unzweifelhafte Beginnen der Gasentwicklung in den unteren dicht über der Membran liegenden Massen. Das entwickelte Gas wurde zum überwiegenden Theile von Kali absorbirt.

Somit kann fernerhin auch das Uebertreten der Fäulniss durch Membranen nichts für Enzyme in Bacterien beweisen, und es stehen die darauf zielenden Versuche erfreulicher Weise in keinem Widerspruche mehr mit der bis jetzt ausnahmslos befundenen Erfahrung, dass Enzyme durch Pergamentpapier nicht diffundiren.

Digitized by Google

Nachtrag zur Geschichte des Trypsins.

In der soeben erchienenen 2. Lief. der vorstehend (nur nach Lief. 1) citirten physiologischen Chemie von *Hoppe-Seyler* finde ich eine das Trypsin und meine darüber bisher im kurzen Auszuge publicirten Untersuchungen betreffende Bemerkung, welche nicht ohne Berichtigung bleiben kann.

S. 256 u. 257 heisst es a. a. O. im Anschlusse an ein Referat über meine Arbeiten: „Durch Pepsinsalzsäure-Verdauung „wird das Trypsin zerstört, nicht umgekehrt das Pepsin durch „Trypsin. — — — ½-procentige Essigsäure hindert es nicht in „seiner Wirkung, während eine mehr, als 0,5 p. Ct. HCl oder „Schwefelsäure oder Salpetersäure enthaltende Lösung es an seiner „Wirkung hindert (nach meinen Versuchen zeigt sich die Hinderung „schon bei 0,1 p. Ct. HCl sehr entschieden), bei höherem Gehalte „auch zerstört."

Da *Hoppe-Seyler* mir einen eigenen Versuch mit HCl von 0,1 p. Ct. entgegenhält und ich desshalb die Hoffnung nicht hegen kann, die mir zugeschriebene Angabe, welche auch mit meiner früheren (*Virchow*'s Arch. Bd. 39. S. 161) im Widerspruche stehen würde, als einen Druckfehler seines Buches aufgefasst zu sehen, so muss ich bemerken, dass in meiner Mittheilung vom 4. Febr. 1876 in den Verhandl. d. naturhist.-med. Vereins zu Heidelberg, auf welche sich *Hoppe-Seyler* bezieht, nicht 0,5 p. Ct.

Digitized by Google

sondern ausschliesslich 0,5 **p. m.** HCl richtig gedruckt ist und dass in keiner meiner weiteren Mittheilungen etwas davon Abweichendes steht, das *Hoppe-Seyler*'s Versehen erklären könnte. Versuche mit Salpetersäure schreibt mir *Hoppe-Seyler* ebenfalls ohne jeden Grund zu, denn ich habe solche weder jemals angegeben noch überhaupt angestellt, ebensowenig Versuche mit Schwefelsäure von 0,5 p. Ct. oder von 0,5 p. m. Hinsichtlich der letzteren dürfte *Hoppe-Seyler* eine Verwechselung mit einem anderen von mir beschriebenen Versuche begegnet sein, der die Fäulniss von 800 grm. Pankreas in 2 Liter Schwefelsäure von **2 p. m.** behandelt. ***W. K.***

d. 4. Dec. 1877.

Digitized by Google

Versuche zur vergleichenden Physiologie der Verdauung mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse bei den Fischen.

Von

C. Fr. W. Krukenberg.

(Hierzu Taf. II.)

Es sind bis dahin die Versuche im Sinne einer functionellen Vergleichung der verschiedenen Organe am Verdauungsapparate nur selten auf Fische und wirbellose Thiere ausgedehnt worden, sei es weil man einen zu ausschliesslichen Werth auf die Morphologie legte, oder sei es, weil man in der Untersuchungsmethode sich nicht sicher genug fühlte. Die Resultate der vergleichend physiologischen Arbeiten wurden, weil ihre Zahl eine geringe war, um so bereitwilliger aufgenommen und stehen ohne hinlängliche Sichtung neben einander.

Die Mittheilung meiner Versuche wird zur Genüge darthun, wie nothwendig es ist, durch Erneuerung und Erweiterung der physiologischen Versuche den Begriff der Abschnitte und Organe am Verdauungsapparate niederer Thiere klar zu stellen. Ich werde nämlich unter anderem zeigen, dass bei den Fischen die Drüse, welche die vergleichenden Anatomen „Leber" nennen, zuweilen verwickelter im Baue ist und mehr Functionen in sich vereinigt als die Säugerleber, das sogenannte Pancreas oft kein Pancreas ist. Aehnlich und noch mehr muss unsere Auffassung bei Articulaten und Mollusken verändert werden, wie das *C. Claus* (zur

Digitized by Google

Kenntniss des Baues und der Entwicklung von Branchipus stagnalis und Apus cancriformis. Abhandl. der k. Gesellsch. d. Wiss. zu Göttingen. Band XVIII. 1873. S. 39 und 40) und andere Zoologen bereits erwarteten.

Meine Versuche wurden in der Weise ausgeführt, dass sowohl Glycerinextracte, wie wässerige Auszüge nach der *Kühne*'schen Selbstverdauungsmethode (Unters. aus dem phys. Institute der Univ. Heidelberg, Band I, Heft 2, S. 222) — bei welcher allein schon durch die Alkohol- und Aetherextraction der Gewebe der Eintritt von Fäulniss verzögert wird, — angefertigt wurden, und dass die enzymatischen Lösungen bei alkalischer Beschaffenheit mit Thymol, bei saurer Reaction mit Salicylsäure vor Fäulniss geschützt wurden. Die Controlversuche, welche in irgendwie zweifelhaften Fällen nie unterlassen wurden, bestanden theils darin, dass die enzymatische Verdauungsflüssigkeit gekocht und nach dem Erkalten das Fibrin hinzugesetzt wurde, theils liess ich auch nur die Zusatzflüssigkeit unter den nämlichen Verhältnissen wie die fragliche Verdauungslösung auf das Fibrin einwirken. Glycerinextracte wurden besonders dann bevorzugt, wenn es sich um den Nachweis des Pepsins handelte, die wässerigen Auszüge hingegen, wenn die Gegenwart des Trypsins dargethan werden sollte. Die Selbstverdauungsmethode, sehr wohl anwendbar bei der Astacusleber, lieferte mir bei den Molluskenlebern eine entweder unwirksame oder nur schwach verdauende Lösung. Diese Erscheinung wird wohl in dem sehr schleimigen Niederschlage, welcher bei Wasserzusatz in diesen Geweben entsteht, ihren Grund haben. Mittelst Glycerin erhielt ich aber aus den Cephalopoden- wie Limacidenlebern stets ein sehr wirksames Enzym, und das ist der Grund, weshalb in diesem Falle die Versuche ausschliesslich mit dem Glycerinextracte ausgeführt wurden. Nachdem ich mich an den Enzymen der verschiedensten Thiere überzeugt hatte, dass sich in allen Fällen eine Temperatur von

Digitized by Google

37°—40° C. für derartige Versuche am günstigsten erweist, wurde diese im Allgemeinen eingehalten.

Was zunächst die Verdauung bei den Wirbellosen betrifft, so sind zuerst[1]) von *Samuel Basch*[2]) an Periplaneta (Blatta) orientalis L. Versuchsreihen ausgeführt, welche ergaben, dass das Speicheldrüsenextract dieser Thiere Stärke saccharificire und Fibrin in saurer Lösung verdaue. Der Befund eines diastatischen Fermentes in diesen Drüsen hat im Laufe der Zeit keinen Widerspruch erfahren; wohl aber hat *Jousset*[3]) die peptische Wirkung des Speichelextracts von Blatta bestritten, und auch ich war, wenn das Verdauungsrohr bei der Drüsenpräparation unverletzt erhalten wurde, ausser Stande, Pepsin in diesem Organe aufzufinden. Wie Herr Geh. Rath *Kühne* mir gütigst mittheilt, so ist er ebenfalls bei seinen frühern Untersuchungen zu demselben negativen Resultate gelangt. *Jousset* verlegte vielmehr die Pepsinbildung bei diesem Insect in die Blinddärme, deren Secret sich hinter dem Kaumagen in das Verdauungsrohr ergiesst. Ausserdem sollen diese Organe nach *Jousset* ein das Fett emulgirendes Ferment secerniren. Die Function der Blinddärme ist durch diese Angaben nicht erschöpfend ausgedrückt. Das Ferment, welches ich aus diesen Organen erhielt, verdaute rohes wie gekochtes Fibrin sowohl in saurer wie alkalischer Lösung. In letzterer Lösung bildete sich als Verdauungsproduct auch jener Körper, welcher die Bromwasserreaction[4]) veranlasst.

[1]) Ueber ältere Arbeiten ohne durchschlagenden Erfolg, vergl. *F. Plateau*, Recherches sur les phénomènes de la digestion chez les Insectes. Mém. de l'acad. royale de Belgique. Bruxelles 1875. T. XLI.

[2]) *S. Basch*, Unters. über das chylopoetische und uropoetische System der Blatta orientalis. Sitzungsb. der Wiener Acad. d. Wiss. Bd. XXIII. No. 25. S. 234—260.

[3]) *Jousset*, Recherches sur les fonctions des glandes de l'appareil digestif des Insectes. Comptes rendus 1876, T. 82, pag. 97.

[4]) *Tiedemann u. Gmelin*, Die Verdauung etc. 1831. S. 31 u. 32. *Kühne*, (Anwendung von Brom- statt Chlorwasser), Ueber Indol aus Eiweiss. Berichte d. chem. Ges. Jahrg. VIII. S. 207.

Digitized by Google

Dieses Ferment vereinigt also in sich die Eigenschaften des Pepsins und Trypsins, von welchen es vielleicht nur ein Gemisch darstellt. Der Magen hat bei Blatta nach *Jousset*'s Meinung nur die Aufgabe der Zuckerabsorption zu erfüllen. Alle Autoren sind in dem Punkte einig, dass die Malpighischen Gefässe Harnorgane sind, und ohne verdauende Kraft auf Stärke, Fett und Eiweisssubstanzen. Schon vor *Jousset* hatte *Felix Plateau* Untersuchungen über die Verdauungsvorgänge bei den verschiedensten Insecten angestellt und seine Resultate mitgetheilt[1]). *Jousset*[2]) hatte jedoch gegen ihn[3]) beansprucht zuerst die Reaction des Secretes der Blinddärme exact nachgewiesen zu haben. So wichtig nun aber die Reaction (ob sauer oder alkalisch) für die Secrete bei höheren Thieren ist, ebenso irrelevant ist sie für das Secret der Insectenblinddärme (speciell der Blatta), da, wie ich bereits berichtete, deren Ferment sowohl in saurer als in alkalischer Lösung die Eiweissstoffe peptonisirt. Auch scheint es, dass innerhalb anderer Arthropodengruppen, nämlich bei den Krustaceen, die Reaction des sogenannten Lebersecretes sich nicht gleichartig verhält. So ist das Secret der Leber von Eriphia spinifrons Savigny im Leben stark alkalisch, während ich, in Bestätigung der Angabe von *Hoppe-Seyler*[4]), das der Astacusleber stark sauer finde.

Hoppe-Seyler[4]) hat weiter bei Astacus fluviatilis gefunden, dass das saure sich in den Magen ergiessende Lebersecret Ei-

---

[1]) *F. Plateau*, l. c.
— Archives des sciences physiques et naturelles. Tome LIII 1875, Juni. S. 155.

[2]) *Jousset*, Comptes rendus, t. 82 S. 461.

[3]) *F. Plateau*, Comptes rendus, t. 82 S. 340.

[4]) *Hoppe-Seyler*, Ueber Unterschiede im chemischen Bau und der Verdauung höherer und niederer Thiere. Pflüger's Archiv, Bd. XIV, 1876 S. 395—400.

Digitized by Google

weissstoffe in alkalischer wie saurer Lösung verdaut, die Stärke in Zucker umwandelt und Olivenöl zersetzt. Es enthält somit das Astacuslebersecret dasselbe Ferment, welches ich bei Blatta nachwies. Beide verhalten sich den Eiweisssubstanzen gegenüber nicht wie Trypsin, sondern wie Trypsin + Pepsin. Nach meinen Versuchen wenigstens ist die Wirkung des Astacusleberextractes in saurer Lösung (selbst in 0,2%iger ClH wurde rohes wie gekochtes Fibrin im Laufe von 1—2 Stunden verdaut) ziemlich energisch und nicht so unsicher, wie *Hoppe-Seyler* anzunehmen scheint.

Für die Fische geben *Fick* und *Murisier*[1]) an, dass der Magenauszug von Hecht und Forelle noch bei 0° regelmässig lösend auf geronnenes Eiweiss einwirkt, und dass die verdauende Kraft bei 40° nicht hinter dem künstlichen Magensaft des Hundes und Schweines zurücksteht. Es ist von anderer Seite aus dieser Angabe geschlossen, dass die Wirkungsintensität des Magenextractes von Hecht und Forelle bei einer Temperatursteigerung von 10 bis 40° C. gleich bleibe, während bekanntlich das Pepsin der Warmblüter bei 40° C. das Fibrin rascher verdaut als bei 20 oder gar bei 10° C. Dieses Resultat konnte ich jedoch annähernd nur an in 0,1% ClH stark gequollenem Fibrin erzielen und mich niemals von der Richtigkeit der Angabe *Hoppe-Seyler's*[2]) überzeugen, dass „Extracte der Schleimhaut vom Hechtmagen Fibrinflocken bei 15° schneller als bei 40° verdauen."

In jüngster Zeit hat Herr *Luchau*[3]) mitgetheilt, dass bei Cyprinus tinca und Cyprinus carpio die sogenannte Magen-

[1]) *Fick* und *Murisier*, Verhandl. der Würzburger phys.-med. Ges. N. F. IV. S. 120.

[2]) *Hoppe-Seyler*, l. c.

[3]) *Luchau*, Vorläufige Mittheilung über die Magenverdauung einiger Fische. Centralblatt f. d. med. Wiss. 1877. No. 28. S. 497.

Digitized by Google

schleimhaut ein Extract liefert, welches nur bei neutraler Reaction Fibrin verdaut und Stärke saccharificirt. Herr *Homburger*[1]) hatte schon früher ähnliche Versuche an Cyprinus tinca, Chondrostoma nasus, Scardmius erythrophthalmus und an Abramis brama angestellt mit dem Resultate, dass das Extract der Darmmuscosa wie das der sogenannten Leber und selbst die Galle, Fibrin verdaut, Stärkekleister in Zucker verwandelt und Olivenöl zersetzt. In solcher Weise wirkte nach diesem Autor das Wasserextract, nicht aber die mit Salzsäure versetzte Verdauungsflüssigkeit. Mir scheint es nach ausgedehnten Untersuchungen an Cyprinus carpio, als ob Leber[2]) wie Darm ein die Eiweisskörper bei alkalischer wie neutraler Reaction verdauendes Enzym absondern. Dieses Enzym ist nach dem gegenwärtigen Stande unseres Wissens richtiges Trypsin; denn schon *Luchau* wies als ein Product dieser Verdauung das Tyrosin nach, und ich erhielt mit der verdauten Flüssigkeit in ausgezeichneter Weise die Bromwasserreaction. Die Galle von Cyprinus carpio erwies sich bei meinen Versuchen jedoch dem Fibrin gegenüber bei 40° C. als vollständig unwirksam.

Ueber diese theilweise das Aeltere bestätigenden, theilweise es reformirenden Ergebnisse hinauszukommen hat mir ein Aufenthalt in Triest Gelegenheit gegeben. Die Bearbeitung des dort im August und September d. J. gesammelten Materials habe ich vermittelst der Glycerinextracte und Alkoholpräparate im Heidelberger physiologischen Institute unter der Leitung meines werthgeschätzten Lehrers, Herrn Geh. Rath *Kühne*, vollendet.

---

[1]) *L. Homburger*, Zur Verdauung der Fische. ibid. 1877. No. 31. S. 561.

[2]) Beiläufig sei bemerkt, dass schon 1827 *E. H. Weber* (Ueber die Leber von Cyprinus carpio, die zugleich die Stelle des Pankreas zu vertreten scheint; *J. F. Meckel*'s Archiv f. Anat. u. Physiologie. Jahrg. 1827, S. 294—299) die Karpfenleber als einen Complex von Pankreas und Leber ansah. Cf. auch *Claude Bernard*, Mémoire sur le pancréas etc. Supplément aux Comptes rendus. 1856. T. I. p. 543.

Digitized by Google

Ich bitte diese Arbeiten nur als Sondirungen auf dem Gebiete der vergleichenden Physiologie der Verdauungsvorgänge zu betrachten und erlaube mir selbst keine theoretische Verallgemeinerungen über ganze Thierclassen. Ich bin der Ansicht, dass die Untersuchungen über ein viel grösseres Material ausgedehnt werden müssen, bevor man generalisiren darf. Auch sei kurz der Schwierigkeiten Erwähnung gethan, mit welchen experimentelle Untersuchungen zu kämpfen haben. Fehler entspringen einerseits aus der anatomischen Präparation. Es kann z. B. ein kleines Drüschen mit Pancreasfunction sich so dicht den Pylorialanfängen anschmiegen, dass es unbeachtet bleibt. Eine zweite Reihe von Fehlerquellen entsteht aus dem Gelangen der Fermente eines Darmabschnittes in andere Bezirke; solches zwar nicht mit der zuweilen angenommenen Tragweite. Auch ist es nicht unwahrscheinlich, dass die Natur der secernirten Enzyme mit den Lebensverhältnissen, dem Alter, der Ernährung des Thieres, dem Wechsel der Jahreszeiten (letzteres besonders bei Süsswasserfischen) sich verändert. Die beigegebenen schematischen Bilder wolle man ferner nur als einfachsten Ausdruck der von mir gefundenen Thatsachen ansehen; sie sind ohne jede hypothetische Zuthat.

Das Verständniss der mannigfachen Complicationen, auf welche wir bei den Verdauungsvorgängen der Fische stossen, wird, wie ich glaube, sehr erleichtert, wenn die Betrachtung von dem Verhalten ausgeht, welches uns jetzt von Articulaten und Mollusken bekannt ist. Nicht nur bei Astacus fluviatilis und Periplaneta orientalis kennen wir ein Organ, welches ein sowohl in saurer wie alkalischer Lösung Eiweissstoffe verdauendes, Stärke saccharificirendes und vielleicht auch Fette zersetzendes Secret liefert. Zu ganz ähnlichen Befunden führten meine Untersuchungen bei Cephalopoden (Sepiola Rondeletii, Sepia officinalis und elegans, Eledone moschata) und Lima-

Digitized by Google

ciden (Arion rufus und ater, Limax agrestis und cinereo-ater). Die sogenannte Leber[1]) dieser Thiere, welche einerseits mehr, andererseits (Gallenstoffe fehlen) weniger als die Leber der höhern Wirbelthiere ist und eher der Astacus- und Blattaleber analogisirt werden muss, liefert ein Secret, welches Stärke in Zucker verwandelt und Fibrin (aber, soweit zur Zeit meine Untersuchungen reichen, nur rohes) unter Bildung von Peptonen sowohl in saurer wie alkalischer und neutraler Lösung verdaut, während, wie *Kühne* fand, das sogenannte Cephalopodenpancreas kein Trypsin enthält. Die Speicheldrüsen der Cephalopoden sind so gut wie rein muciparer Natur; ihr Secret hat die Passage der Speise durch den meist engen Oesophagus zu ermöglichen: eine Anschauung, welche auch durch vergleichend anatomische Befunde gestützt wird.

Indem wir wegen der Unsicherheit unserer Versuchsmethoden von dem Vorkommen eines die Fette verseifenden Fermentes absehen, und die Angaben über das Auftreten des diastatischen Fermentes uns für eine spätere Mittheilung vorbehalten, sei hier besonders den eiweisszersetzenden Enzymen unsere Aufmerksamkeit zugewandt. In den Schemata der zugehörigen Tafel ist das Vorkommen des Pepsins (so sei hier ganz allgemein das Eiweisssubstanzen in einer sauren Lösung verdauende Enzym genannt) durch eine blaue Umrandung der versinnlichten Organe[2]) zur

[1]) Ein eigenthümlicher Mechanismus, bei den Cephalopoden in dem Spiralmagen, bei den Pulmonaten in schlingenförmig verlaufenden Falten der Darmmucosa (cf. *Gartenauer*, Ueber den Darmcanal einiger einheimischen Gasteropoden. Jena 1875. S. 11—15 u. Fig. III) gegeben, besorgt den Abfluss des Lebersecrets in den vordern wie hintern Abschnitt des Verdauungsrohres.

[2]) Der an zwei Polen unterbrochene Kreis stellt den als Vorderdarm bezeichneten Abschnitt vor, an welchen sich in Form zweier Parallelen der Darm reiht. Die Aussackungen am Darme bedeuten die Appendices pyloricae und die durch einen engern Canal mit ihm verbundenen kleinen Kreise ein Ferment secernirendes Organ, welches vergleichend anatomisch bald als Leber, bald als Pankreas gedeutet wurde. Die einzeln so bezeichneten Organe

Digitized by Google

Anschauung gebracht, während das Eiweissstoffe in alkalischer und neutraler Lösung verdauende Enzym (hier kurz pancreatisches Ferment genannt) in einer rothen Contourirung seinen Ausdruck findet. Sind beide Fermente in ihrem Vorkommen vergesellschaftet, oder werden sie durch ein einziges Ferment repräsentirt, so ist der Contour purpurfarbig.

Hiernach würden die Verhältnisse, welche sich bei Astacus und Blatta finden, in Fig. 1 ihren Ausdruck finden; denn die Astacusleber lässt sich auch als ein Schlauchaggregat auffassen ähnlich der Pylorialdrüse von Sturio. Die Verdauungseinrichtungen bei Cephalopoden und Limaciden versinnlicht Fig. 2; denn bei diesen Mollusken sondert eine einheitliche Drüsenmasse das so eigenthümliche Secret ab.

Die Verdauungsversuche bei Fischen liefern nun die so interessanten Bilder, welche vielleicht zu dem Schlusse berechtigen, dass aus einer so einheitlichen Anlage der fermentbildenden Zone, wie wir sie in Fig. 1 und 2 repräsentirt sehen, sich die andern Verhältnisse in der Weise herausbildeten, dass die peptische Zone nach vorn hin sich ausdehnte oder verschob, die pancreatische hingegen den ursprünglichen Platz behauptete oder sich umgekehrt über den nach hinten zu gerichteten Abschnitt des Verdauungsrohres ausbreitete (cf. Fig. 3 und 10). Wenn man von dieser Anschauung aus die Sachlage beurtheilt, so zeigt sich die Differenzirung in der Classe der Fische am vollkommensten ausgeführt einerseits bei Thynnus vulgaris, Clupea sardina, Cepola rubescens und andererseits bei Leuciscus und einigen Gobiiden (Fig. 6 und 8). Bei Accipenser Sturio und bei den Haien (Scyllium canicula und ganz besonders bei Mustelus

müssen in dieser Beziehung als ein einheitliches Ganzes aufgefasst werden, weil speciellere Untersuchungen über Zahl und Lage der secernirenden Elemente in denselben zur Zeit noch keinen Aufschluss ergaben. Deshalb wurde auch eine vielleicht naturgetreuere Form der Darstellung von mir hier nicht angewandt.

Digitized by Google

vulgaris), vielleicht auch bei Rochen, von denen in dieser Beziehung Trygon pastinaca, Torpedo marmorata und mehrere Rajiden untersucht wurden, beschränkt sich der pepsinbildende Bezirk nicht auf den sogenannten Magen, sondern erstreckt sich oft noch weit auf den Darm entlang (cf. Schema 3 und 4). Bei Mustelus vulgaris ist die Leber, von welcher fast 3 Kilo nach der *Kühne*'schen Selbstverdauungsmethode behandelt wurden, frei von Trypsin und vielleicht entbehrt sie auch des diastatischen Fermentes, von welchem sie höchstens Spuren enthalten kann. Ebenfalls enthält die Chymusdrüse und die Milz bei allen oben aufgeführten Selachiern weder Trypsin noch Pepsin. Schon *Claude Bernard* fand (Mémoire sur le pancréas etc. Supplément aux Comptes rendus. T. I. 1856. p. 542), dass das Rochenpancreas ein fettzersetzendes sowie ein diastatisches Ferment enthält; während ersteres Ferment in der Leber und Milz desselben Thieres von diesem Forscher nicht nachgewiesen werden konnte. Die Pylorialdrüse (aber nicht das Pancreas *Alessandrini's*) vom Stör hat, wie einige ältere Autoren richtig ahnten, Pancreasfunction; doch sind auch pepsinbildende Elemente in derselben vertreten. Bei einigen Teleostiern (z. B. bei Zeus faber und Scomber scomber) setzt sich, im Gegensatz zu der bei Haien und beim Stör angetroffenen Vertheilung der Drüsen, die pancreatische Zone auch auf die Magenschleimhaut hin fort (s. Fig. 5). Diese Befunde werden später vielleicht ihre Aufklärung finden, wenn der Nachweis gelingt, dass die Pylorialdrüsen der höhern Vertebraten den Appendices pyloricae der Teleostier homolog sind. Auch treffen wir bei den Knochenfischen auf Verhältnisse, welche in einer Beziehung eine gewisse Unvollkommenheit, in anderer hingegen den höchsten Grad der Differenzirung darbieten. So liefern die bei einzelnen Scorpaenen gewonnenen experimentellen Befunde ein Schema (Fig. 7), welches eine Combination von Nr. 1 (Astacus, Blatta) und von Nr. 8 (Gobius, Leuciscus) darstellt.

Digitized by Google

Bei einzelnen Fischen kommen die ein pancreatisches Enzym secernirenden Drüsen ganz zum Ausfall, so z. B. bei Conger vulgaris, Anguilla vulgaris[1]) und bei Esox lucius[2]), während umgekehrt pepsinbildende Zellen vielen Cyprinoiden und einigen Gobiiden fehlen (cf. Fig. 9, 10 u. 11).

Bei Cyprinus carpio, Rhombus maximus und Solea vulgaris, ferner bei Scorpaena porcus ist die Bildung dieses Fermentes aber nicht nur auf die dem Darme anliegende Drüsenmasse beschränkt, sondern erstreckt sich, wie es nach allen vorliegenden Untersuchungen den Anschein hat, noch ausserdem auf die Zellen der Darmmucosa (Fig. 10).

Mit Hülfe einer einfachen pankreatischen Verdauung, welches Ferment lediglich in einer oder mehreren (Squilla mantis) Lebern producirt wird, bewältigen auch viele niedere Thiere (Hydrophilus piceus, Squilla mantis, Eriphia spinifrons, Lumbricus complanatus) ausschliesslich ihre eiweisshaltige Kost. Die Ascidien (Ascidia canina, Cynthia microcosmus), welche in ihrer Darmmucosa ein diastatisches Ferment von energischer Wirksamkeit besitzen, entbehren jedes eiweissverdauenden Enzymes; wenigstens lieferten mir Extracte aus je 50—80 Ascidiendärmen ein vollkommen negatives Resultat. Ebenso wenig gelang es mir, aus dem Darmtractus von Hirudo officinalis und aus Actinien (Actinia mesembryanthemum wurde in grosser Menge zu diesen Versuchen verwendet) ein Eiweiss verdauendes Enzym zu gewinnen, während in dem Extracte der Aphrodite-(hystrix)lebern sich leicht die Gegenwart eines pankreatischen Enzymes nachweisen liess.

Die Leber, deren Function in der Bildung eines Reserve-

---

[1]) Das Pankreas, dessen *J. Müller* (Ueber Nebenkiemen und Wundernetze. *Müller's* Archiv 1840. S. 132) beim Aal Erwähnung thut, wird ein rudimentäres Gebilde ohne secretorische Bedeutung sein.

[2]) Bei Esox lucius wurden von *Alessandrini* (Novi Comment. Acad. scient. Instit. Bononiensis, t. II, Tafel XVI) Fettanhänge für Pankreas gehalten.

Digitized by Google

stoffbehälters (wegen ihres Glycogen- resp. Fettreichthums), in einem die Zusammensetzung des Blutes beeinflussenden Organe (Gallenfarbstoffe) oder in einer Drüse, deren Secret bei der Resorption der Fette von Nutzen ist, gesucht wird, kann, wie wir gesehen haben, bei Fischen (z. B. bei Perca) auch ein wohl entwickeltes Pankreas ersetzen helfen und bei Mollusken und Krebsen, indem sie die Fähigkeit, Gallenfarbstoffe zu bilden verliert, ausser der Pankreasfunction selbst noch die Function der Labdrüsen übernehmen. Mir scheint es für die Klarlegung der Verhältnisse von grossem Werthe zu sein, dass ein Organ, welches in der Thierreihe nach und nach immer mehr von seinen ursprünglichen Eigenschaften einbüsst und dafür mit neuen Functionen betraut wird, ein Organ, dessen anfangs so zahlreiche Functionen nach und nach sich auf viele Organe vertheilen, eine Bezeichnung führt, welche in ihrer Bedeutung nicht zu eng ist. Dieser Forderung wird hier allein der Namen „Leber" genügen, und höchst unvortheilhaft würde es meiner Ansicht nach für die Wissenschaft sein, z. B. für die Astacusleber den Namen „Pankreas" in Vorschlag zu bringen, zumal die Krebsleber viel mehr als das Pankreas der höhern Vertebraten ist.[1])

Schliesslich mögen einige Bemerkungen über das Vorkommen des Pankreas bei den Fischen hier ihren Platz finden. Das sogenannte Pankreas des Störs[2]), des Hechtes[3]) und vielleicht noch anderer Fische verdient diesen Namen nicht; denn theils ist das, was hier als Pankreas bezeichnet wurde, nur eine aus-

[1]) Die Krebsleber wird ihres grossen Fettreichthums wegen auch als Reservestoffbehälter aufgefasst werden müssen.

[2]) *Alessandrini*, l. c. Tafel XIV und XV. Diese Drüse ist vielleicht der sog. Chymusdrüse der Selachier analog. *Brandt* und *Ratzeburg* (Med. Zoologie etc. Bd. II. 1839 S. 55) nannten das als Pylorialdrüse bezeichnete Organ „Pankreas", während *Rathke*, *Carus* und *J. Müller* darin eine zwischen Appendices pyloricae und Pankreas vermittelnde Form sahen.

[3]) *Alessandrini*, l. c. Tafel XVI.

Digitized by Google

gezeichnete Stelle des Fettkörpers (Esox) oder es sind Drüsen von unbekannter aber anderer Function als sie ein Pankreas versieht (Sturio). Weder das Glycerinextrakt noch die Lösung, welche durch Selbstverdauung aus mehreren Störpankreas erhalten wurde, liess irgend eine Spur von peptischer oder tryptischer Wirkung auf rohes Fibrin erkennen. Ein physiologisch wie morphologisch zu constatirendes Pankreas findet sich bei folgenden Fischen: Belone rostrata[1]), Rhombus maximus[1]), Mugil cephalus und vielleicht auch bei Perca fluviatilis[1]). Ausserdem ist hier die sog. Gekrösedrüse[2]) der Selachier zu erwähnen. Der so oft wiederholte Ausspruch: „Die Appendices pyloricae können kein Ersatz für das fehlende Pankreas sein, weil bei einigen Fischen sich beides findet" ist nicht nur logisch, sondern auch factisch unrichtig, weil nicht nur an eine Functionsverstärkung, sondern auch an eine Funktionstheilung gedacht werden kann. Meine Versuche zeigen, dass bei Fischen sehr verschiedene Organe (Darmmucosa, Appendices pyloricae, Pankreas im engern Sinne, Leber) ein pankreatisches Secret für die Verdauung liefern können, ohne dass das eine das andere in seinem Vorkommen ausschliesst. So functionirt z. B. bei Carpio Leber und Darmwand, bei Perca Leber und ausserdem noch ein anderes Organ, vielleicht jener als Pankreas bezeichnete (*A. Brockmann*, l. c. p. 19) Drüsenkörper. Bei Scorpaena Darm, Appendices pyloricae und Leber, — und nur sehr selten findet man die Verhältnisse so rein, wie man sie sich a priori wünschte.

Einen genügenden Aufschluss über die Bedeutung der Appendices pyloricae bei den Teleostiern geben meine Untersuchungen zur Zeit noch nicht. Bei einigen Fischen scheinen sie in der That das Pankreas zu vertreten (Sturio, Thynnus,

[1]) *Brockmann*, de pancreate piscium, Rostock 1846.

[2]) Dieselbe wurde schon von *Nicolaus Stenon* (De musculis et glandulis observationum specimen. Amstelodami 1664. S. 57) als Pankreas beschrieben.

Digitized by Google

Cepola rubescens, Clupea sardina), bei andern haben sie vielleicht nur eine Schleimabsonderung zu besorgen (Perca fluviatilis). Fütterungsversuche mit durch Zinnober oder Ultramarin gefärbter Kost haben mir bei Perca bewiesen, dass in diese merkwürdigen Ausstülpungen kein so beträchtlicher Abfluss des Chymus stattfindet, wie man es von Resorptionsorganen erwarten dürfte. Schon *Schellhammer* (Anat. Xiphiae etc. Hamb. 1707. p. 22) sah in den Appendices pyloricae ausschliesslich resorbirende Organe, eine Auffassung, welche theilweise von *Rathke* (Müller's Archiv, 1837, Seite 354), *Meckel* (System der vergl. Anatomie, Bd. IV. S. 228) u. A. adoptirt wurde und in Herrn *L. Edinger* (Ueber die Schleimhaut des Fischdarms etc. Inaugural-Dissertation. Bonn 1876, S. 26), welcher seine Ansicht auf neue interessante Befunde histologischer Art stützt, jüngst wieder einen Vertreter fand. Bei vielen Fischen (besonders bei Thynnus vulgaris) ist jedoch die secretorische Function dieser Anhänge so evident, dass an einer Secretbildung in denselben kaum gezweifelt werden kann. Es muss zwar zugestanden werden, dass besonders da, wo die Ausgangsöffnung der Appendices pyloricae in den Darm weit ist, wie z. B. bei Sturio, auch chymöse Flüssigkeit in dieselben einsickert, welche der Resorption unterliegt, da eine secretorische und resorbirende Function keineswegs einander ausschliessen. Auch das Magenferment gelangt, wie Versuche an Cepola und Clupea sardina lehren, bei einigen Fischen nie in diese Anhänge hinein, deren Extract lediglich eine rein pankreatische Wirkung auf Eiweisssubstanzen entfaltet.

Tafel II.

Die Erklärung der Abbildungen ist durch die Bezeichnungen auf der Tafel gegeben.

Digitized by Google

Ueber lichtbeständige Farben der Netzhaut.

Von **W. Kühne.**

(Unter Mitwirkung von Dr. **W. C. Ayres** aus New-Orleans.)

(Hierzu Taf. III, IV, V.)

Für einige hier zu beschreibende Farben der Netzhaut wählen wir die Bezeichnung „lichtbeständig" nicht um damit zu sagen, dass sie am Lichte vollkommen echt seien, sondern um sie dem bis jetzt einzig bekannten, im höchsten Grade lichtveränderlichen Pigmente des Auges, dem Sehpurpur gegenüberzustellen. Dass Pigmente, welche Absorptionsfarben darstellen und denen das Zurückhalten bestimmter Lichtwellen eigenthümlich ist, durch Licht auch merklich verändert oder zersetzt werden, ist etwas so Allgemeines, dass man in der Natur, wie in der Technik Mühe hat, wirklich echte Farben zu finden. Es muss ein tiefer, wissenschaftlicher Beachtung würdiger Grund sein, der Kunst und Gewerbe drängt, dauerhafte, dem Lichte widerstehende Farben immer wieder unter den Verbindungen zu suchen, welche auch gegen hohe Temperaturen beständig sind, und da, wo von Mineralfarben abzusehen ist, unter den in so grosser Zahl vorhandenen gefärbten Kohlenstoffverbindungen, vor den prächtigeren diejenigen zu bevorzugen, welche relativ bedeutende Erhitzung vertragen, ohne zersetzt zu werden. Als Muster der letzteren Gattung können die Indig- und Krappfarbstoffe gelten, die zum Theil sogar bei hoher Temperatur unverändert sublimiren, aber auch

Digitized by Google

von diesen ist es wahrscheinlich, von manchen gewiss, dass sie unter an sich unschädlichen Behandlungen vergehen, wenn sich die Wirkung des Lichtes dazu gesellt; Herrn *Vogel*'s Angabe (Ber. d. D. Chem. Gesellschaft X. Jahrg. S. 692), dass das Purpurin durch überschüssiges Alkali im Dunkeln nicht, am Lichte sicher entfärbt wird, haben wir vollkommen richtig gefunden. Im Allgemeinen ist daher gegen den Satz, nur Mineralfarben seien echt, sog. organische Farbstoffe unecht, wenig einzuwenden, doch verdient bemerkt zu werden, dass es unter den letzteren einige grade dem Thierleibe ausschliesslich angehörige giebt, welche die in der Färberei benutzten an Echtheit weit übertreffen. Es sind dies die Farbstoffe des Blutes, vor Allem das reducirte Hämoglobin, an welchem wir Veränderlichkeit durch Licht überhaupt nicht nachzuweisen vermochten [1]) und das schwarze oder

[1]) Mit Recht machte vor kurzem *Hoppe-Seyler* (Zeitschrift f. physiol. Chem. Bd. 1, S. 121.) auf die ausserordentliche Haltbarkeit des reducirten Hämoglobins aufmerksam, den ich bestätigen und mit Rücksicht auf die Lichtwirkung erweitern kann. Ich habe möglichst reine wässrige Hämoglobinlösungen mit durch Wasserstoff reducirtem Eisenpulver und einer äusserst kleinen Luftblase in Glasröhren eingeschmolzen, 9 Jahre conservirt und im Laufe des letzten Jahres im Lichte und in der Sonne liegen lassen, ohne daran spectroskopisch oder durch andere Mittel erkennbare Veränderungen eintreten zu sehen. In einigen dieser Röhren, welche ich seit Jahren in meinen Vorlesungen zu zeigen und vor den Spectralapparat zu setzen pflege, befanden sich von Anfang an so verdünnte Lösungen, dass der einzige Streifen des reducirten Hämoglobins grade gut kenntlich war; derselbe ist heute noch mit derselben Deutlichkeit zu sehen. Wie sich das O-haltige Hämoglobin während längerer Zeit gegen das Licht verhalte, liess sich deshalb nicht feststellen, weil die Lösung überhaupt nicht conservirbar ist, ohne die Beschaffenheit des sog. Methämoglobins oder des in neuerer Zeit als Peroxyhämoglobin bezeichneten Körpers anzunehmen und schliesslich eingreifender, auch ohne Betheiligung des Lichtes, wie es scheint, zersetzt zu werden.

Hinsichtlich des sog. Peroxyhämoglobins bin ich zwar in der Lage, die mannigfachen zuerst von *Gamgee*, kürzlich besonders von *Jäderholm* gefundenen Entstehungsweisen desselben zu bestätigen, aber mit *Hoppe-Seyler* der Ansicht, dass es sich dabei durchaus um keine Entstehung höherer Oxydationsstufen des Hämoglobins mit grösserem Sauerstoffgehalte handelt.

Digitized by Google

braune Pigment zahlreicher Standorte. Andere Farbstoffe, die der Galle, des Fettes u. s. w. sind wie die meisten Pflanzenfarben

Der Körper von dem spectroskopischen Verhalten des sog. Methämoglobins entsteht bekanntlich auch ohne O-Zutritt unter Einwirkung sehr geringer Mengen von Säure auf das Hämoglobin arteriellen Blutes und ist gerade dann gebildet, wenn an das Vacuum kein O mehr abgegeben wird. Da jeder Zusatz, der die fragliche Substanz erzeugt, das Hämoglobin zugleich dahin verwandelt, dass ihm durch Druckverminderung kein O mehr zu entziehen ist, andrerseits aber alle chemischen Reductionsmittel daraus gewöhnliches reducirtes Hämoglobin erzeugen, das dann mit neuem O wieder in gewöhnliches Hämoglobin übergeht, so wird es ganz erklärlich, wie es auch von anderer Seite schon angegeben wurde und von mir seit vielen Jahren in meinen Vorlesungen erläutert zu werden pflegt, dass die angebliche Synthese oder Reconstruction des Hämoglobins aus Hämatin und Globin keine andere thatsächliche Grundlage besitzt, als die in dem Verhalten des sog. Methämoglobins gelegene. Daraus erhellt weiter, dass der Körper nichts anderes sein kann als die festere, durch Druckverminderung nicht mehr zu lockernde oder nicht mehr dissociirbare chemische Verbindung des O mit dem Hämoglobin, welche eben nur durch chemische Affinitäten zerlegt oder reducirt werden kann. Unter den Mitteln, welche Hämoglobin (natürlich beim Arbeiten an der Atmosphäre) in den fraglichen Körper überführen, d. h. in die Substanz, die man allein treffend, als Oxyhämoglobin bezeichnen würde, fand ich das Trypsin besonders wirksam, und da die weitere tryptische Wirkung, welche zur Bildung von Pepton und Hämatin führt, erst von dem neuen Körper anhebt, hatte ich besondere Gründe in meiner kurzen Mittheilung über Trypsinwirkungen, wo ich auch der auf das Hämoglobin gedachte, keine eingehenderen Angaben darüber zu machen, ob ich in Gegenwart der Atmosphäre arbeitete, was *Hoppe-Seyler* immer ausdrücklich zu beanspruchen scheint. Dass *Hoppe-Seyler* von Andern verlangt, nur reducirtes Hämoglobin Hämoglobin zu nennen, wie er es thut, ist ganz unberechtigt und führt bei ihm selbst zu zahlreichen Inconsequenzen und Unklarheiten der Darstellung, aus denen ihm am wenigsten Anrecht auf so entbehrliche Bemerkungen erwächst, wie die, dass meine Angabe unrichtig sei, womit er sich erlaubt, meine Beobachtung von der Verdauung des Hämoglobins, welche die Basis seiner weiteren Untersuchung bildete, zu begleiten (vergl. l. c.). — Es mag an dieser Stelle noch erwähnt werden, dass die Bildung des echten Oxyhämoglobins zugleich Licht wirft auf die viel erörterte Frage von der Ozonisirung des Blutsauerstoffes, denn das Ozon ist es, das diesen Körper erzeugt. Im Ozonstrome entsteht er so gut, wie durch ozonisirten Aether in Gestalt jener in schönen, glänzenden, braunen, sehr haltbaren Krystallen zu gewinnenden Substanz, und was vom Blutsauerstoffe ozonisirt wird, erzeugt eben an dem ersten Träger des Sauerstoffs, am Hämoglobin selbst das Oxydationsprodukt. Das Hämoglobin zersetzt sich anscheinend von selbst,

Digitized by Google

am Lichte langsam vergänglich, ob mit oder ohne Betheiligung accessorischer Processe, von Oxydationen z. B. kann zunächst unerörtert bleiben.

Das Auge und die Retina sind, abgesehen von dem schwarzen, auch durch höchst energische chemische Mittel kaum zerstörbaren Pigmente, entweder durch den Besitz des erstaunlich lichtempfindlichen Sehpurpurs, oder durch andere Farbstoffe ausgezeichnet, welche bis heute keine auffälligere Beziehung zum Lichte erkennen liessen, und es wurde darüber bereits die Bemerkung (Heft 1, Seite 28) gemacht, dass das Vorkommen dieser in farbigen Fettkugeln auftretenden Stoffe in ersichtlicher Beziehung zu dem Fehlen oder der Armuth an Sehpurpur stehe. Die Vogelretina ist um so reicher an Sehpurpur, je geringer die Zahl und Farbensättigung der Fettkugeln in den Zapfen ist, vollkommen purpurfrei bei manchen Vögeln, wo die farbigen Fettkugeln besonders entwickelt sind, wie bei der Taube und dem Huhne. Für die Reptilien gilt anscheinend Aehnliches, insofern bei Lacerta z. B. kein Sehpurpur, aber reichlich gelbes Pigment in den Zapfen vorkommt; bei den Schlangen findet sich weder das Eine noch der Andere.

Aus allen Angaben, seit der Entdeckung der retinalen Fettkugeln durch *Hannover*, geht hervor, dass deren Farben in nicht auffälliger Weise vergänglich sind. Alkohol, Aether u. s. w. lösen das Fett sammt der Farbe auf, Siedehitze, Alkalien, mässig concentrirte Säuren verändern sie nicht, kurz es scheinen hier sehr stabile Stoffe vorzuliegen. Da die Farbstoffe ohne Ausnahme in Kugeln vom Verhalten des Fettes auftreten und das Fett als Lösungsmittel etwas wesentlich anderes sein konnte, als das noch unbekannte, vermuthlich aber wasserhaltige Medium, das den

---

weil es den locker gebundenen O nach und nach ozonisirt; man begreift also, wesshalb andere Ozonreactionen am Blute so schlecht glücken: das Hämoglobin macht den angewendeten Reagentien Concurrenz. *W. K.*

Digitized by Google

Sehpurpur in den Stäbchen einschliesst, stellten wir uns die Frage, ob nicht die drei schönen Farben der Vogelzapfen nach Befreiung vom Fette, in irgend welche wässrige Lösung übergeführt, denjenigen Grad von Lichtempfindlichkeit zeigen würden, welcher ihnen eine dem Sehpurpur ähnliche Bedeutung beilegen liesse. Vom Sehpurpur war es uns schon bekannt, dass er ohne Gegenwart von Wasser bedeutend langsamer bleicht und vollends war am Sehgelb ein hoher Grad von Indolenz sowohl durch Trockenhalten, wie durch Fixiren an sein Substrat oder an manche darauf zur Wirkung gebrachte chemische Verbindungen (Sublimat) beobachtet. In ähnlicher Lage konnten sich lichtempfindliche Pigmente in dem wasserfreien Fette der Zapfenkugeln auch befinden und wenn man sich dachte, dass das Fett auf irgend welche Art partiell zersetzt oder verseift werde, war den ohne Ausnahme purpurfreien Zapfen zu einer photochemisch wirksamen Substanz, von der es da noch gar keine Andeutungen gab, geholfen. Dies war der eine Grund, welcher uns bestimmte, die Farbstoffe der Vogelretina aus ihrer natürlichen Verbindung mit dem Fette zu lösen; ein zweiter lag in dem Wunsche, nach Entfernung des allen gemeinsamen Lösungsmittels einige neue versuchen zu können, um damit die verschiedenartigen Farben von einander zu scheiden. Weder das Eine noch das Andere war durch die wasserfreien Mittel, wie die Alkohole, Aether, Benzol, Chloroform, Schwefelkohlenstoff u. s. w., welche bisher zur Lösung des Fettes verwendet worden, zu erreichen.

Unsere ersten Versuche farbige Extrakte aus der Vogelretina mit absolutem oder verdünntem Glycerin, mit Galle, Seife oder mit gallehaltigem Glycerin zu gewinnen, waren sämmtlich vergeblich; beim Glycerin hatte es zwar oft den Anschein, als ob die Färbung sich, wie in echter Lösung, gleichmässig vertheilte, aber durch das Filter gingen immer nur farblose Tropfen. Der Anschein von Lösung, dem die gute Erhaltung der nach

Digitized by Google

langer Einwirkung des Glycerins im Dunkeln mikroskopisch noch vortrefflich erkennbaren Farbkugeln auch widersprach, beruhte also auf der gleichmässigen Vertheilung und Lichtbrechung der Masse. Nach dem Ausfalle der Vorversuche blieb nichts übrig, als das anfänglich bedenklich scheinende Mittel der Verseifung, von dem sich jedoch zeigen wird, dass es vollkommen zum Ziele führte.

Wir haben aus örtlichen Gründen zu chemischen Versuchen nur die Retinae von Hühnern benutzt, welche uns in grosser Zahl aus den Gasthöfen Heidelbergs zur Verfügung standen. Taubenretinae, die reicher an rothen Zapfenkugeln sind und sich für unsere Zwecke mehr geeignet hätten, waren nicht in der nöthigen Menge zu beschaffen; wir verwendeten sie nur zu mikroskopischen Untersuchungen. Aus den frischen Hühnerköpfen wurden die Bulbi herausgenommen, aussen sauber abpräparirt, weit nach vorn geöffnet und der ganze Grund mit der Retina nach dem Ausstürzen des Glaskörpers sofort in absoluten Alkohol geworfen. Sobald 70—100 Augen in dieser Weise gesammelt waren, wurde der gelbliche Alkohol abgegossen, auf dem Wasserbade schnell verdampft, der Rückstand mit Aether extrahirt, der sich meist schwach orange färbte, und diese Lösung mit der Hauptlösung, die durch vollkommene Erschöpfung des alkoholfeuchten Präparates mittelst Aether erhalten war, vereinigt. Statt des Aethers ist jedes andere Extraktionsmittel für Fette, Benzol, Petroläther, Chloroform u. s. w. verwendbar, wir fanden aber keine Veranlassung von dem eingeschlagenen Verfahren abzugehen, nachdem wir uns überzeugt hatten, dass keine der genannten Flüssigkeiten aus dem mit Aether erschöpften Präparate noch etwas Farbiges aufnahm und als wir bemerkt hatten, dass jedes der Mittel sämmtliche Pigmente, und von diesen keines vorzugsweise aufnahm. Für kalten Alkohol scheint dasselbe zu gelten, obwohl die Farbe davon nur in geringer Menge aufgenommen wurde, wie es zu erwarten war, wenn die Extraktion

Digitized by Google

wesentlich von der Auflösung des Fettes abhing, das bekanntlich nur von heissem Alkohol reichlicher gelöst wird.

Die orangerothe Aetherlösung hinterliess beim Verdunsten ein intensiv feuerrothes Fett, das wir nach der Methode von *Heintz* durch Auflösen in der grade hinreichenden Menge kochenden Alkohols unter Zusatz einiger Tropfen sehr concentrirter Natronlauge verseiften. Dabei änderte sich die Farbe anfänglich kaum, sie wurde aber heller mennigroth in dem Grade, wie der Alkohol verdampfte und Seife sich auszuscheiden begann, was besonders nach dem Zusetzen von Wasser erfolgte. Um den Alkohol gut zu entfernen, wurde zu der bereits recht concentrirten alkoholischen Seifenlösung siedendes Wasser gegeben und mit diesem so lange weiter erhitzt, bis jeder Geruch nach Alkohol verschwunden war. Bei den ersten Versuchen verdünnten wir die Seifenlösung so bedeutend, dass sie nach dem Erkalten höchstens die Consistenz dünnen Seifenleims annahm, der dann durchsichtig und von feuerrother Farbe war. Wurde derselbe mit Aether ausgeschüttelt, so färbte sich dieser tief orangegelb, nicht röthlich, während die darunter stehende Seife reiner roth, zinnoberfarben, endlich rosenroth wurde, indem der Aether augenscheinlich vorwiegend gelbe Pigmente entzog und nur purpurne in der Seife gelöst oder suspendirt blieben. Durch Ausschütteln mit neuen Aethermengen brachten wir es soweit, die letzten Antheile farblos abheben zu können, während an der Grenze der Flüssigkeiten eine tief rosenrothe, pulvrige Ausscheidung schwamm und die Seifenlösung nur noch schwach rosa aussah. Den rosenfarbenen Körper zu isoliren gelang sehr schlecht, da das Aethermagma, das ihn einschloss, kaum filtrirte. Auf dem Papiere durch Verdunsten des Aethers und der noch eingeschlossenen Seifenlösung vertrocknet, gab es an Aether und Schwefelkohlenstoff nichts gefärbtes, an heissen Alkohol, an Benzol etwas rosenrothe, an Chloroform sehr schwache Rosafarbe ab. Das

Digitized by Google

Verfahren gestattete also wohl orange oder gelb gefärbte Pigmente aus der Seife mit Aether zu entziehen, erwies sich aber zur Darstellung der purpurfarbenen, die besonderes Interesse erregten, unzureichend und verfehlte ausserdem häufig darin das Ziel, dass der Aether sich von der Seifenlösung nicht trennte. Nachdem wir mit viel kostbarem Material zu unserem Schaden Lehrgeld gezahlt hatten, wurde der folgende richtige Griff gefunden. Die Seife wurde bereitet, wie schon beschrieben, aber mit einem mässigen Ueberschusse concentrirter Natronlauge, 24 Stunden ins Kalte gestellt, durch Abgiessen als fester Kuchen von der darunter befindlichen, vollkommen farblosen Mutterlauge getrennt, zerbröckelt und mit kaltem Wasser gewaschen, bis das überschüssige Alkali ziemlich entfernt war, d. h. bis das Waschwasser grade anfing etwas Seife in Lösung zu führen, was an dem Auftreten schwach gelblicher oder röthlicher Färbung im Filtrate gut zu erkennen war. So gereinigt konnte die Seife auf dem Wasserbade so weit getrocknet werden, dass sie sich nach dem Erkalten fein zerschaben liess.

Um aus diesem Präparate die Pigmente in Lösung zu bringen, können wir folgende Vorschrift geben, bei der wir nach vielen hier zu übergehenden Versuchen stehen blieben: das Pulver wird zuerst mit Petroleumäther geschüttelt, nach einigen Minuten abfiltrirt, vom Filter mit gewöhnlichem Aether abgespült und so lange damit ausgeschüttelt, als derselbe bei öfterem Erneuern noch Farbe annimmt. Die erste Lösung im Petroläther ist gelbgrün von einem Farbstoffe, den wir Chlorophan nennen, die zweite ätherische orangefarben, verdünnt mehr rein gelb; wir nennen ihren Farbstoff Xanthophan. Wenn die Seife den Aether nicht mehr färbt, ist sie schön rosenroth, also purpurn, ohne jede sichtbare Beimischung von Gelb oder Orange, weder mennig- noch zinnoberfarben. Hat sie die reine Purpurfarbe nicht, so kann man sicher sein, dass sie nach längerem Stehen unter Aether

Digitized by Google

noch etwas gelbes Pigment hergiebt. Für solche Fälle haben wir es zweckmässig gefunden, sie mit wenig kaltem Alkohol auszuwaschen, der zwar auch etwas Rhodophan, wie wir den dritten Farbstoff nennen, aufnimmt, den letzten Rest von Xanthophan aber sicher entfernt. Die purpurne Seife giebt nun an Terpenthinöl oder an Benzol einen Theil des Rhodophans ab, sodass man prachtvoll rosa gefärbte, klare Lösungen erhält; um jedoch allen Farbstoff in Lösung zu bringen, wissen wir kein anderes Mittel, als die Seife entweder zu zersetzen, oder sie selbst aufzulösen, entweder in heissem Wasser, besser in kochendem Alkohol, was tief purpurfarbene Flüssigkeiten liefert. Schwefelkohlenstoff nimmt von der purpurnen Seife keine Spur Färbung an.

Die Lösungen des Chlorophans und des Xanthophans bedürfen noch einer Reinigung, welche durch fractionirtes Auflösen unter Benutzung der verschiedenen Löslichkeit der einzelnen Pigmente in Petroläther, mit einigem Substanzverluste auszuführen ist. Man dampft die Chlorophanlösung ab und nimmt den Rückstand in einer ungenügenden Menge Petroläther wieder auf; die neue Lösung zeigt den Ausfall der Beimengung von Xanthophan, das mit orangegelber Farbe ungelöst bleibt, deutlich durch ihre jetzt viel mehr in's Grüne schlagende Färbung an. Zur Reinigung des Xanthophans wird dessen ätherische Lösung abgedampft und der Rückstand mit wenig Petroläther ausgewaschen, wobei wieder Chlorophan in Lösung geht und entfernt wird, natürlich nicht ohne Verlust an Xanthophan, der nur einigermaassen durch den Antheil ersetzt wird, welcher in dem ersten Chlorophan steckte. Das chlorophanfreie Xanthophan enthält jetzt noch etwas Rhodophan und um es auch von diesem zu trennen, wird die feste Masse mit Schwefelkohlenstoff behandelt, welcher das letztere, in gallertige Häute eingeschlossen, zurücklässt, während er das Xanthophan mit tief orangerother Farbe

Digitized by Google

auflöst. Diese Lösung, sogleich und schnell verdunstet, hinterlässt eine dunkelbräunliche Materie, welche sich oft mit Hinterlassung einiger missfarbener, Schwefel enthaltender Krümel, in Aether mit schön goldgelber Farbe löst. Bei dem letzten Theile der Operation sind besondere Vorsicht und sehr reiner Schwefelkohlenstoff erforderlich, da die Farbstoffe sich während des Abdunstens dieses Lösungsmittels leicht zersetzen, so dass der nachträglich benutzte Aether zuweilen trübe, kaum oder sehr zweifelhaft gefärbt abfiltrirt. Schnelles Operiren unter häufigem Schwenken der Schale und sehr mässiges Erwärmen scheinen den Erfolg am besten zu sichern. Da wir die Möglichkeit der Zersetzung des Xanthophans bei der Reinigung kannten, haben wir nicht versäumt, dessen unten zu berichtendes Verhalten mittelst desjenigen Antheiles zu controliren, welcher gleich von vornherein vom Petroläther aufgenommen worden und als frei von Rhodophan ohne Verwendung von Schwefelkohlenstoff ebenso rein erhalten war. Das vom Schwefelkohlenstoff zurückgelassene Rhodophan ist natürlich durch Trocknen und Auflösen in Terpenthin, Benzol oder heissem Alkohol noch in Verwendung zu bringen.

Da ein und derselbe Farbstoff in verschiedenen Mitteln sehr verschieden gefärbte Lösungen bilden kann und dies von *Capranica* auch an den lichtbeständigeren Pigmenten der Retina bemerkt ist, haben wir sowohl das Aussehen wie das spektroskopische Verhalten der eben genannten 3 Pigmente in den einzelnen Lösungsmitteln genauer beachtet. Das Chlorophan löst sich in Aether mit derselben grüngelben Farbe, wie in Petroläther, das Xanthophan in letzterem mit der gleichen orange- bis reingelben, von der Verdünnung abhängigen, niemals grüngelb werdenden Nuance, wie in Aether. Schwefelkohlenstoff löst beide mit tieferer, das Chlorophan mit orangegelber, das Xanthophan mit rothoranger Färbung. Der an den Substanzen auffällige, durch

Digitized by Google

die grünliche Nuance besonders charakterisirte Unterschied rührt also keineswegs vom Lösungsmittel her. Das Rhodophan, das sich in dem bis dahin erhaltenen Zustande in Schwefelkohlenstoff überhaupt nicht löst, zeigte in den 3 verwendbaren Mitteln für das Auge direkt kaum bemerkbar verschiedene Nuancen, doch waren die Spektra z. Th. incongruent.

Nachdem es gelungen war die Pigmente der Vogelretina von einander zu trennen, hofften wir sie auch von anderen fremden Beimengungen scheiden und vielleicht krystallinisch gewinnen zu können. Indess ist uns dies bis jetzt nicht geglückt, da wir kein Verfahren fanden, die Pigmente von der Verunreinigung durch kleinere Mengen Seife oder Fettsäuren zu befreien. Wir waren der ziemlich verbreiteten Annahme gefolgt, dass Seifen in Benzol, Schwefelkohlenstoff u. dergl. unlöslich seien, aber diese bewährte sich nicht, denn wir fanden die Abdampfungsrückstände aller Pigmentlösungen deutlich seifehaltig, was sich sowohl an der gelatinösen Beschaffenheit vor dem Erreichen vollkommener Trockne, wie an der Ausscheidung fester Fettsäuren und öliger Tropfen nach dem Behandeln mit Säuren zeigte. Von den ätherischen Lösungen überraschte uns dies nach früheren an Seifen des Fettgewebes oder des Eigelbs gemachten Erfahrungen weniger, als an den mit Petroläther oder mit Benzol bereiteten Lösungen, von welchen die letzteren, zur Extraktion des Rhodophans benutzten, sogar den grössten Seifengehalt aufwiesen, und wenn man bei Verwendung gewöhnlichen Aethers, der in demselben Maasse Wasser aufnimmt, wie er selber in Wasser löslich ist, denken konnte, dass er von den nicht absolut trockenen Seifen soviel aufnehme, als dem mit übergehenden Wasser entspricht, so wurde die Erklärung besonders für den Petroläther, der gar kein Wasser aufzunehmen scheint, hinfällig. Der Petroläther schien endlich auch dann noch Seife aufzulösen, wenn diese so vollkommen wie möglich entwässert war, in einem Falle also,

Digitized by Google

wo nicht einmal Zersetzung der Seife und Uebergang von Fettsäuren in den Aether, was den Uebergang der Seife erst zur Folge haben könnte, stattfinden konnte. Zu unserer Belehrung an den farbigen Fetten des Eigelbs unternommene Versuche, die Alkaliseifen erst in Barytverbindungen überzuführen, welche wir der Aether- oder Benzolbehandlung unterwarfen, fielen auch nicht befriedigend genug aus, um das mit schwerer Mühe aus den Vogelaugen erworbene Material daran zu wagen.

Die dargestellten Farben hafteten also an Seife oder stellten selbst möglicherweise Verbindungen mit Alkali vor. Ohne über das letztere entscheiden zu können, meinen wir auf die Unwahrscheinlichkeit der Annahme aufmerksam machen zu sollen; man müsste denn voraussetzen, dass jene Alkaliverbindungen in Wasser unlöslich seien, um verstehen zu können, weshalb sie sich weder der Vogelretina oder dem daraus gewonnenen Fette, noch dessen Seifen durch Erwärmen mit etwas Alkali oder NH_3 entziehen lassen. Da sich Fette und Fettsäuren in Eisessig lösen, begreift man, dass trockne Vogelretinae auch an dieses Mittel den Farbstoff abgeben, ebenso dass alle daraus erhaltenen Mischungen der Seifen mit den Farbstoffen in Eisessig unter Beibehaltung der charakteristischen Färbung löslich sind. Aus solchen Lösungen scheidet Wasser die Fettsäuren aus und an diesen haftete jedesmal das Pigment. Wir haben die tief gefärbten Seifen auch in heissen Alkohol gelöst, mit wenig Eisessig versetzt, wodurch nur in einem Falle die Farbe verändert wurde, und darauf mit Wasser verdünnt. Hierbei schieden sich die Fettsäuren wieder aus, theils in Krystallen, theils in öligen Tropfen, von denen wieder die Pigmente nicht zu trennen waren. Einmal durch solche Behandlung statt an Seifen von Fettsäuren fixirt, zeigten die einzelnen Pigmente keine Unterschiede mehr in der Löslichkeit, da sich jetzt das Rhodophan leicht in Schwefelkohlenstoff, Aether und Petroläther, das Xanthophan auch schnell

Digitized by Google

in Petroläther löste, wie nicht zu bezweifeln ist, weil die in allen genannten Mitteln löslichen Fettsäuren jetzt das Führmittel für die Aufnahme der Pigmente bildeten. Die Zerlegung der Seifen durch Ansäuern gewährt immerhin ein gutes Mittel, um jede Art Lösung, auch des Rhodophans, von beliebiger Concentration herzustellen. Das Rhodophan ist dann in der Mischung mit freien Fettsäuren auch in Schwefelkohlenstoff löslich und nimmt darin im Gegensatze zum Chlorophan und Xanthophan keine andere Nuance, wie die in den früheren Lösungsmitteln auftretende purpurrothe an. Mit der Seife in heissem Alkohol gelöst und mit überschüssigem Eisessig versetzt, sahen wir diese schöne Farbe nach und nach gelblich werden und nach 48 Stunden ganz verschwinden, eine Zersetzung, welche im Lichte nicht schneller, als im Dunkeln verlief.

Da die bis soweit gewonnenen Erfahrungen schon einige physiologische Verwendung zuliessen, haben wir zunächst von weiteren Bemühungen, die retinalen Pigmente im Zustande vollkommener chemischer Reinheit zu gewinnen, abgesehen. Die Pigmentseifenmischungen liessen sich z. B. vortrefflich zur Herstellung wässriger Lösungen und damit zur Entscheidung der aufgeworfenen Frage nach der Lichtempfindlichkeit in diesem Falle verwenden. Schon an der direkt aus dem Fette gewonnenen Seife war keine auffälligere Veränderlichkeit durch Licht zu bemerken, obwohl wir unsere Darstellungen im Allgemeinen unter möglichstem Lichtschutze, wenn auch keinem so peinlich vollkommenen, wie beim Arbeiten mit Sehpurpur, vorgenommen hatten. Da indess die tiefe Farbe des Rhodophans in der Mischung das Chlorophan und Xanthophan nahezu unkenntlich macht und nur die letzteren lichtempfindlich sein konnten, wurden auch die getrennten Pigmente in wässrige Lösungen übergeführt. Die kleine Seifenmenge, welche diese verunreinigte, genügte dazu so wenig, dass mit kochendem Wasser gar keine, mit überschüssigem

Digitized by Google

Alkali auch nur kaum gefärbte Flüssigkeiten zu erhalten waren. Leicht gelang dies aber mit 5procentiger Galle, welche alle 3 Pigmente in hinreichender Menge aufnahm. Die Lösungen gingen erst nach längerem, etwa 24stündigem Stehen klar durch das Filter. Wir fanden sie nicht veränderlicher im Lichte als die bisher mit wasserfreien Mitteln hergestellten. Am meisten sehen wir bis heute nach vieltägiger Exposition an die Wintersonne das Chlorophan, dann das Xanthophan ausgeblichen, während das Rhodophan noch keine Neigung zum Abblassen erkennen lässt, wenn wir es neben die Dunkelprobe halten. Dagegen ist die Lösung dieses Körpers in Terpenthinöl sehr unbeständig, aber im Dunkeln nicht minder, als im Hellen, offenbar weil der Terpenthin sich ozonisirt und so den Farbstoff bleicht. Wir müssen also unsere Frage, ob aus den farbigen Fetten der Vogelretina etwas hervorgehe, das in anderer Weise gelöst, lichtempfindlich sei im Sinne des Sehpurpurs, mit einem entschiedenen Nein beantworten.

Die Darstellungsweise der Farbstoffe macht eine Erörterung unumgänglich über ihre Praeexistenz in der Retina. Mittelst der Spektralanalyse würde hierüber am bündigsten zu entscheiden sein, aber es fehlten uns dazu einstweilen Apparate, welche das Verfahren an dem mikroskopischen Präparate der Retina mit genügender Genauigkeit durchzuführen gestatteten, denn mit dem *Browning*'schen spektroskopischen Oculare, das *Talma* (Onderzoekingen g. i. h. physiol. Lab. t. Utrecht. B. III. II p. 259) zu diesem Zwecke benutzte, wollte es uns nicht gelingen mehr als sehr diffuse Bilder zu erhalten, auf welche hin wir uns nicht getrauen Angaben über die Spektra der in den einzelnen Farbkugeln enthaltenen Pigmente zu machen.

Wer den mikroskopischen Anblick der Vogelnetzhaut kennt, kann nicht zweifeln, dass sie mindestens 3 Farben enthält, eine rubinrothe, eine orange bis rein gelbe, und eine grünlichgelbe, und

Digitized by Google

es ist uns darum unfassbar, wie man nur auf den Gedanken zu kommen vermochte, allem Augenscheine zuwider so Verschiedenes von einem einzigen Farbstoffe abzuleiten. Es braucht nicht darüber verhandelt zu werden, dass der Augenschein täuschen könne, da es Niemand bezweifelt, aber gegen Evidenzen von der Art der hier vorliegenden ist es gefährlich zu verstossen. Gäbe es nur rubinrothe und orange Fettkugeln in den Zapfen, so wäre es allenfalls glaublich, dass die letzteren den rothen Stoff nur in verdünnterer Lösung enthielten, aber für die grüngelben Zapfenkugeln der Vogelretina setzt die Annahme eines einzigen Pigmentes Etwas voraus, was ohne Fluorescenz unmöglich ist, nämlich dass Grün von unzweifelhafter Deutlichkeit durch Verdünnen von Roth oder Orange entstehe.

Wir haben Retinapräparate an Deckgläsern antrocknen lassen und hierauf mit Alkohol, mit Aether, mit Benzol u. s. w. behandelt, um zu sehen, wie sich die Farben der Zapfenkugeln beim Anschwellen unter Verdünnung der Lösung wandelten, und es ist uns unzweifelhaft geworden, dass die grössten und blassesten Tropfen immer noch die 3 Farben unterscheiden liessen, besonders da, wo die Tropfen dicht zusammenrückten, oder im Momente, wo sie ineinander flossen; wir möchten sogar behaupten, dass die Differenz zwischen blassgelben aus ursprünglich orangefarbenen durch Verdünnung entstandenen und einigen noch wenig vergrösserten, intensiv grüngelben Tropfen dabei deutlicher wurde, als sie anfänglich war. Dagegen meinen wir, dass die rubinrothen Kugeln von vornherein nicht ganz dem Aussehen des Rhodophans entsprechen, mehr ins reine Roth schlagen, als es das reine Pigment thut, was übrigens leicht verständlich ist, wenn sie ausserdem etwas Xanthophan enthalten [1]). In der Taubenretina sieht

[1]) Beim Falken fand *Schwalbe* (Handbuch der Ophthalmologie v. Graefe und Saemisch Bd. 1. S. 414) in scheinbar orange gefärbten Kugeln 2 Farbstoffe sichtbar vertheilt, einen hellgrünen, den rothen umschliessend.

Digitized by Google

man aber das in sehr kleinen, vermuthlich auch aus Fett bestehenden Körnchen enthaltene Rhodophan bis zur feinsten Vertheilung zerstreut in den Innengliedern vieler Zapfen liegen und dort von derselben unzweifelhaft rosenrothen oder purpurnen Nuance, welche das von uns dargestellte Rhodophan besitzt. Wie also dieser Körper in situ und im Zustande feinster Vertheilung oder optischer Verdünnung aussieht, weiss man: er fällt durchaus nicht ins Orange oder gar in grünliches Gelb. Wo sich die grösseren rubinrothen Kugeln durch das geeignete Lösungsmittel in umfangreichere Tropfen von verdünnterem Inhalte verwandeln, sieht man sie ausserdem nicht einmal den orangefarbenen gleich, geschweige den grünlichen ähnlich werden. Demnach entsprechen die von uns dargestellten Farbstoffe den in der frischen Retina auffälligen und erkennbaren Farben der Fettkugeln in den Zapfen sehr bestimmt. Von der Existenz blauer Kugeln, welche Manche annehmen, konnten wir uns beim Huhne und bei der Taube unter Ausschluss von Täuschungen durch Contrast so wenig überzeugen, wie es uns hat gelingen wollen durch die verschiedensten Trennungsmethoden, unter welchen z. B. auch farblose Fette als Lösungsmittel der isolirten Pigmente und Seifen geprüft wurden, eine bläuliche Substanz zu gewinnen.

Weitere Mittel zum Nachweise der Uebereinstimmung zwischen den extrahirten und noch in der Retina befindlichen Pigmenten boten sich in den von *Schwalbe* (l. c.) entdeckten grünblauen bis blauen Reactionen der Zapfenkugeln gegen Jod. So lange die Pigmente an Fett gebunden zur Untersuchung kamen, haben wir vergeblich versucht sie ausserhalb der Retina mittelst Jod zu färben und daraus Veranlassung genommen nachzusehen, ob in den Zapfenkugeln neben dem farbigen Fette eine zweite Substanz enthalten sei, welcher die *Schwalbe'sche* Reaction hätte zukommen können. Da farblose Zapfenkugeln durch Jod nicht gebläut werden und die Intensität der Reaction, abgesehen von

Digitized by Google

den dabei auftretenden Mischfarben, doch augenscheinlich von dem Reichthum des Tropfens an Pigment abhing, war die Annahme wenig wahrscheinlich, und es gelang auch in der That nicht an Netzhäuten, die durch irgend welche Extraktion erst entfärbt worden, noch etwas von der Färbung durch Jod hervorzubringen. An der frischen Retina gewinnt man nicht so ganz leicht und ohne längere Behandlung mit überschüssiger Jodlösung überhaupt nicht die Ueberzeugung, dass alle Farbkugeln und namentlich die helleren auf Jod reagiren; man darf sich also nicht wundern, wenn die Vereinigung des ganzen retinalen Fettes, das im Aetherextrakt die Pigmente einhüllt, dem Zutreten des Reagens hinderlich wird.

Wir haben die Sache mit Jodlösungen der verschiedensten Art versucht, mit alkoholischen und wässrigen in Jodkalium, oder in Mischungen beider, aber immer vergeblich. Dennoch zweifeln wir nicht, dass die Reaction nach gehörigem Emulgiren wohl auch so zu erreichen wäre, denn sie gelang uns mit den isolirten Pigmenten recht gut. Das Chlorophan und Xanthophan geben die grünlichblaue Färbung am besten, während sie am Rhodophan zwar dunkler, aber schmutziger und mehr grünlich ausfiel. Bei allen 3 Substanzen war es zweckmässig, die wegen der Verunreinigung durch etwas Seife alkalischen Massen zuvor mit einer Spur Essigsäure zu behandeln. Man sieht hiernach, dass die Jodreaction weiteren Anhalt für die Uebereinstimmung der extrahirten Pigmente mit den praeformirten liefert, und es verdient besonders hervorgehoben zu werden, dass man das Bild der eigenthümlich schmutzigen Färbung des Rhodophans auch in der Retina findet, wenn man die sonderbare Nuance beachtet, welche das diffuse rothe Pigment der Zapfeninnenglieder in der ausgezeichneten rötheren Stelle der Taubennetzhaut unter dem Einflusse des Jods annimmt.

Salpetersäure und concentrirte Schwefelsäure färben nach

Digitized by Google

Capranica's Angabe (Arch. f. Anat. u. Physiol. 1877. Hft. 3 S. 285) die Farbkugeln und das daraus extrahirte farbige Fett dunkel, grünblau bis blau. Wir haben die Reaction mit Salpetersäure, die etwas salpetrige Säure enthielt, auch an den getrennten Pigmenten erhalten, am schwächsten am Rhodophan, das nur vorübergehend blass blaugrün wurde und sich schnell ganz entfärbte; intensiver und weniger flüchtig am Xanthophan und Chlorophan. Mit Schwefelsäure gab es ähnliche Unterschiede, insofern nur die letzteren Pigmente reiner blau, das erstere vorübergehend schwarzblau, dann dunkelbraun wurde. In der Retina ist die Schwefelsäurereaction überhaupt weniger gut zu sehen, weil die Eiweissstoffe davon zu dunkel, das Fett im Allgemeinen roth wird, so dass Mischfarben auftreten.

Nach den angegebenen Vergleichungen dürfte die Praeexistenz der von uns gefundenen 3 Substanzen in der Retina nicht mehr bezweifelt und damit zugegeben werden, dass die farbigen Zapfenkugeln Pigmente enthalten, welche sehr schwer zersetzlich sind, in kaum beachtenswerthem Grade veränderlich durch Licht, unveränderlich in den Lösungsmitteln der Fette nicht nur, sondern auch gegen Siedhitze und während der Verseifung durch concentrirtes Alkali.

Wenn die Vogelretina mehrere und, wie gezeigt wurde, sehr verschiedene Farbstoffe enthält, so hat die spektroskopische Untersuchung einer daraus bereiteten, neben dem Fette sämmtliche Pigmente enthaltenden Lösung geringe Aussichten, Aufschluss über die Beschaffenheit des Lichtes zu geben, das durch die Farbkugeln zu den Zapfenaussengliedern dringt. Wir legen desshalb besonderen Werth auf die in dem Folgenden zu erörternden spektroskopischen Befunde an den einzelnen Farbstoffen und stellen auf Taf. 3 Fig. 14, Taf. 4 Fig. 15 vornehmlich des Gegensatzes wegen die Spektra der in Aether und in Schwefelkohlenstoff mit dem Fette vereinigten gemischten Pigmente dar. Diese und alle

Digitized by Google

übrigen Spektralbilder wurden nach Beobachtungen entworfen, die wir bei gutem Tages- oder Sonnenlichte mit Hülfe des Heliostaten unter geeigneten Abblendungen sowohl des zu intensiven Sonnenlichtes, wie der nicht in Betracht kommenden Theile des Spektrums anstellten. Wir haben von den gebräuchlichen malerischen Copieen der Absorptionsbänder abgesehen, weil dieselben im Drucke selten treu den Zeichnungen entsprechend herauskommen, und dafür die anschaulichere und genauere, in der Chemie mehr übliche Darstellung in Curven vorgezogen. Die Orte der maximalen Absorption, das Zu- oder Abnehmen dieser haben wir versucht möglichst treu wieder zu geben, ebenso das Dunkelheitsverhältniss der einzelnen Bänder zu einander und das Ansteigen diffuser Absorptionen an den Enden der Spektra. Alle Lösungen wurden in das *Hermann'sche* Hämoskop, das einen Wechsel der Schicht von 0 bis 35 mm. zuliess, gefüllt vor den Spalt gebracht und in der Weise untersucht, dass man bei langsamer Verdickung der Schicht beurtheilen konnte, welche Schatten zuerst und welche Antheile der einzelnen Bänder nacheinander auftauchten; darnach sind die Höhen und Gestalten der Curven bemessen. Wo wir, wie beim Chlorophan namentlich im Roth oder Orange, geringe Absorption glaubten vermuthen zu dürfen, wurden ausserdem Röhren mit ebenen Verschlussenden von 10—20 Ctm. Länge verwendet. Da das Hämoskop Flüssigkeiten aufzunehmen hatte, welche Harzkitte auflösen, auf die es ursprünglich nicht eingerichtet ist, haben wir ein mit Kreidekitt gefertigtes Instrument benutzt und die ineinander gleitenden Cylinder, wenn nöthig, mit Glycerin statt mit Fett geschmiert.

Das Spektrum Fig. 14 der gemischten Pigmente zeigt den breiten Streif β beträchtlich schwächer, als den ersten vor F beginnenden und entsprechend dem vorherrschenden Gelb starke weitere Absorption im Anfang des Violet, während Fig. 15 die Streifen stark zum rothen Ende verschoben und totale Aufhellung

Digitized by Google

im Violet darbietet. Es ist dies etwas den gemischten Lösungen in CS_2 Eigenthümliches und in Uebereinstimmung mit der dem Auge direkt wahrnehmbaren Aenderung der Nuance. Der Streif β Fig. 15 ist bei gutem Lichte und hinreichend dünnen Schichten natürlich doppelt zu sehen, obwohl die beiden Schatten dann sehr schwach sind.

Fig. 16 zeigte das Verhalten des Chlorophans, das sowohl für Lösungen in gewöhnlichem Aether, wie für die in Petroläther gilt. Dieselben liessen viel mehr Violet durch, als die Mischung der 3 Pigmente, dagegen weniger Blau und weit mehr Grün. Die concentrirteste Lösung, die wir hatten, und welche bei 20 mm. das gezeichnete Spektrum gab, liess bei 20 Ctm. Dicke weder im Roth von A an, noch sonst irgendwo vor b Absorption erkennen.

In CS_2 gelöst, wurde das Chlorophan orangegelb, indem das Grün unkenntlich wurde, und das Spectrum (Fig. 20) zeigte jetzt mehr Indig und Blau, das Grün, bis F hin, von dem ersten Bande bedeckt. Nach dem Verdunsten des CS_2, von neuem in Aether aufgenommen, gab es wieder das Spectrum Fig. 16.

Das von Chlorophan gereinigte Xanthophan gab nur einen Streifen (Fig. 17) vor F beginnend und starke Beschattung des Violet, welche schon im Indig anfing; in CS_2 gelöst (Fig. 21) viel stärkere schon im Cyanblau beginnende Absorption des Indig und Violet, und ein gleich hinter E beginnendes Band; das Aussehen der Lösung näherte sich stark dem des spectralen Roth von B bis C. Auch das Xanthophan wurde durch einmaliges Auflösen in CS_2 nicht geändert, denn wenn man es nach dem Abdunsten des CS_2 in Aether löste, wurde das vorige Spectrum (Fig. 17) zurückerhalten.

Die Lösungen des Rhodophans zeigten ebenfalls nur ein Absorptionsband, aber von bedeutender Breite, das bei der Benzollösung (Fig. 18) E und F überragte, bei der in Terpenthinöl

Digitized by Google

zwischen b und F begann und zum grössten Theile in den Raum zwischen F und G fiel (Fig. 19). Wie die beiden Spectren noch Unterschiede in der Absorption von Violet zeigen, so waren sie auch für das Auge nicht absolut gleich, die Benzollösung etwas heller, mehr rosa.

Da man die Spectren Fig. 14 u. 15 der gemischten Pigmente nicht durch Uebereinanderlegen der Einzelspectren erhalten kann, so versuchten wir aus den gereinigten Pigmenten wieder eine gemischte Lösung von dem gleichen Verhalten der ursprünglichen herzustellen. Nach Zerlegung der Seifen durch Ansäuern war dies für sämmtliche Stoffe, besonders auch für das Rhodophan mit Aether und Schwefelkohlenstoff ausführbar, aber wir haben diese Versuche bald aufgegeben, als wir sahen, dass das Probiren mehr Material kostete, als der Zweck verdiente.

Von derselben Seite, welche die verschiedenen Pigmente der Vogelretina auf ein Einziges zurückzuführen versuchte, ist die weitere gewagte Behauptung aufgestellt, jene eine (nicht existirende) Substanz sei identisch mit dem gelben Pigmente der Fettkugeln im Retinaepithelium des Frosches. Wir haben diesen Körper in hinreichender Menge aus den Abfällen der Froschaugen, welche zur Bereitung von Sehpurpur gedient hatten, herzustellen vermocht, indem wir darauf hielten, sämmtliche Chorioïdeae mit dem Retinaepithel, oder auch die am hinteren Pole sorgfältig gesäuberten Augengründe, wenn sie keine andere Verwendung fanden, immer sofort in Alkohol werfen zu lassen. So wurde auf dieselbe Weise, wie es bei den Vogelaugen geschehen, aus einigen Tausend Froschaugen das gelbe Fett und aus diesem die pigmenthaltige Seife gewonnen. Es gelang hier immer leicht, die dünne Seifenlösung vollständig durch Ausschütteln mit Aether vom Farbstoff zu befreien und diesen selbst jedenfalls reiner von Seifen, mehr in Gestalt harter, sich schon vor dem

Digitized by Google

vollkommenen Verdunsten ausscheidender Rinden zu gewinnen. Ihn krystallinisch zu gewinnen, gelang mit keiner Auflösung.

Die *Schwalbe*'sche Jodreaction, welche *Boll* an den Fettkugeln des retinalen Epithels beim Frosche auch erhielt, sahen wir an diesem Pigmente vortrefflich eintreten, ebenso die Färbungen mit NHO_3 und SH_2O_4. Um ganz sicher zu erfahren, wie sich das retinale Froschfett im Vergleiche zu dem des Huhnes verhalte, haben wir nicht versäumt, einen Theil der aus ersterem erhaltenen Seife in derselben Weise, wie bei jenem, erst im trocknen Zustande herzustellen und darauf mit Petroläther zu extrahiren. Es liess sich damit alles Pigment entziehen, so dass die Seife völlig farblos wurde und was sich löste hatte nur eine, die rein gelbe, in Aether mit derselben Leichtigkeit übergehende Farbe; weder etwas von grünlicher, noch von mehr orange oder rother Nuance kam dabei zum Vorschein.

In Fig. 1 ist das Spectrum der ätherischen Epithellösung, in Fig. 3 das des gereinigten Pigmentes, das wir Lipochrin nennen wollen, dargestellt. Die beiden Spectren besitzen ersichtlich grosse Aehnlichkeit, wie es zu erwarten ist, wenn das Fett nur ein Pigment enthält, und wir wollen nicht versäumen, auf den schlagenden Unterschied aufmerksam zu machen, der allein schon in diesem Umstande gegenüber dem Aussehen der Pigmentspectren und des Fettspectrums von der Vogelretina, wo von solcher Aehnlichkeit, aus nicht mehr zu erwähnenden Gründen, überhaupt nicht die Rede sein kann, liegt. Gewisse Differenzen sind gleichwohl auch hier vorhanden, wahrscheinlich deshalb, weil das Fett, als ein an der Auflösung sich betheiligender Körper von Bedeutung für die Nuance ist. Bei allen Spectren des Lipochrins ist geringere Absorption an Stelle des ersten dem Roth zu liegenden Bandes im Vergleiche zu der des zweiten bemerkenswerth, wie es sonst nur beim Chlorophan und dort nur an der ätherischen Lösung (Fig. 16) vorkommt. In CS_2 ge-

Digitized by Google

löst gibt das Lipochrin das Spectrum (Fig. 6), das ausser der starken Verschiebung der Bänder bis E in Concentrationen, wo diese scharf sind, totale Aufhellung im Violet zeigt. Ist neben dem Pigmente Fett im CS_2 gelöst, so erhält man das Spectrum von Fig. 4, das wieder anders ist, indem es weniger Violet und das Band α kurz vor E beginnend zeigt.

Die in Heft 3, Seite 289 angeführte Erfahrung, dass das Kaninchen, dessen Fettgewebe sehr blass ist, auch im Retinaepithel nahezu farblose Fettkugeln führt, gab Veranlassung, den lappigen Fettkörper in der Bauchhöhle des Frosches auf dessen auffälliges Pigment zu prüfen. Da die Untersuchung mit denselben Methoden, wie bisher geschah und die Resultate vollkommen mit dem vom Retinaepithel berichteten zusammenfielen, beschränken wir uns auf die Darstellung der Belege in den Spectren von Fig. 2 u. 5, Fig. 3 u. 4. Auch dieser Farbstoff gab die erwähnte Jodreaction, von welcher freilich an den Fettzellen des Gewebes keine Spur hervorzubringen war, ebenso die blauen bis grünen Färbungen mit NH_3O und SH_2O_4. Bei den Spectren bitten wir die überall deutliche und gleichförmige Höhendifferenz der Curven α u. β zu beachten, welche besonders geeignet ist, die Identität des Farbstoffes in den genetisch, wie functionell so überaus verschiedenen Ablagerungsplätzen epithelialer und dem Bindegewebe angehöriger Zellen des Frosches hervortreten zu lassen.

Wie die Lappen des Fettkörpers feucht gehalten in einigen Tagen, an der Sonne allenfalls schon in einem Tage bedeutend abblassen, so thun es auch die Lösungen dieses Fettes in Alkohol oder in Aether und die des aus der Seife extrahirten Lipochrins. In Galle gelöst blich das Pigment nicht schneller aus, in sehr verdünnter Lösung, auf weissem Grunde, bei niedriger Schicht besten Falls in 2—3 Stunden bis zur vollkommenen Entfärbung; doch wurde dies nur im Juli, in der Zeit von 12—3

Digitized by Google

Uhr unter maximal wirkendem direkten Sonnenlichte bei einer durch Berieselung auf 12° C. erhaltenen Temperatur erreicht.

Nach diesen Erfahrungen dürften weitere Untersuchungen über den gelben Farbstoff des Fettes verschiedener Thiere grosses Interesse bieten und es wäre namentlich wichtig, zu wissen, ob es Säugethiere gibt, bei denen Fetttropfen von identischer Farbe im Retinaepithel auftreten. Beim Menschen, dessen Fett bekanntlich gelb ist, vermissten wir deutliche Fetttropfen im Retinaepithel gänzlich, ebenso beim Schweine oder dem Rinde, wo wir blasses Retinafett zu finden hofften. Die Haut der Frösche gibt an Alkohol und Aether gelbgrünliche Fette ab, aus denen wir durch Verseifung eine Substanz erhielten, die sich vom Lipochrin nicht unterschied.

Dass es sinnlos sei das gelbe Pigment des Froschfettes für identisch mit der Mischung von drei Farbstoffen der Vogelretina zu halten, bedarf keiner weiteren Erwähnung, es blieb aber zu untersuchen, ob das Lipochrin nicht mit einem derselben, dem Chlorophan oder dem Xanthophan übereinstimme, womit es dem Augenscheine nach unter Umständen einige Aehnlichkeit hat. Seine Lösungen sind aber weder so grünlich, wie die des Chlorophans, noch so orangegelb, wie die des Xanthophans, wenn man von einigermaassen gleich concentrirten Flüssigkeiten ausgeht; in fester Gestalt oder mit Fett zerrieben hat es die meiste Aehnlichkeit mit dem Chlorophan, dessen grünliche Nuance in diesem Zustande etwas zurücktritt. Man braucht indess nur die Spektra Fig. 3 u. 6 des Lipochrins mit denen des Chlorophans Fig. 16 u. 20 zu vergleichen, um so colossale Unterschiede zu entdecken, dass jeder Gedanke an Identität der Körper schwinden muss. Während das Band α des Chlorophans ziemlich weit hinter F beginnt, überschreitet α des Lipochrins F beträchtlich; der Streif β des ersteren reicht über G hinaus, während β des anderen weit vor G aufhört. (Vergl. Fig. 3 u. 16).

Digitized by Google

An den Schwefelkohlenstofflösungen fällt ein ähnliches Verhältniss der beiden im Ganzen nach dem Roth hin verschobenen Bänder auf die Linien E, b und F bezogen, auf (vergl. Fig. 6 u. Fig. 20). Das Xanthophan zum Vergleiche mit dem Lipochrin heranzuziehen, verbietet der Umstand, dass dessen Spektra alle einstreifig sind und das Lipochrin für eine Mischung aus Xanthophan und Chlorophan zu halten, wäre, anderer Gründe zu geschweigen, unerlaubt, weil die Trennungsmethoden, welche für diese bei der Vogelretina vollkommen anschlagen, auf das Fettgewebe und das Retinaepithel des Frosches angewendet, wie schon bemerkt, niemals zwei Pigmente liefern.

Somit sind also in der Retina bis jetzt im Ganzen nicht weniger, als 4 verschiedene lichtbeständigere Farbstoffe neben dem hier nicht zu erörternden schwarzen Pigmente nachgewiesen.

Schon von *Thudichum* (Centralblatt f. d. Med. Wissenschft. 1869 S. 1) u. A. ist auf die Aehnlichkeit des Farbstoffes der gelben thierischen Fette mit denen des Hühnereidotters und der Corpora lutea, ja mit dem vieler gelber Pflanzentheile hingewiesen. Wir haben desshalb noch den Eidotter und die Corpora lutea nach den bei der Netzhaut befolgten Methoden einer kurzen Untersuchung unterzogen. Fig. 7 zeigt das Spektrum eines durch Zerrühren frischer Eidotter mit wenig Alkohol und viel Aether erhaltenen Extraktes. Dasselbe ist dem des Froschfettes (Fig. 1 u. 2) bezüglich der Bänder α und β ähnlich, aber man bemerkt darin bei G noch einen dritten schwachen Streifen und viel geringere Beschattung des Violet. Dieser dritte Streif, von *Preyer* beschrieben und abgebildet (*W. Preyer*, die Blutkrystalle. Jena 1871. Taf. II Fig. 13), in neuerer Zeit von Anderen geleugnet, ist nur bei gutem Lichte und sehr engem Spalte nach passendem Wechsel der Schicht mittelst des Hämoskops zur Anschauung zu bringen. Zuweilen gelingt es aber auch durch das sorgfältigste Probiren nicht sich von seiner Anwesen-

Digitized by Google

heit zu überzeugen, was wir auf die bekannten individuellen oder von der Hühnerrace abhängigen Unterschiede in der Färbung der Dotter zurückführen möchten. Constanter sahen wir einen dritten Streifen bei G, aber nach dem Roth hin verschoben, in den Schwefelkohlenstofflösungen (Fig. 10) auftreten, die wir mit dem Verdampfungsrückstande der ätherischen Dotterfettlösung erhielten. Aus trockener Dotterseife nahmen sowohl Petroläther, wie Aether das gesammte Pigment auf, dessen spektroskopisches Verhalten Fig. 8, 9 u. 11 wiedergeben. Die Aehnlichkeit dieser Spektra der gereinigten Substanz mit denen des Lipochrins ist allerdings ziemlich auffallend, aber wir müssen doch auf 2 wesentliche an den ätherischen Lösungen hervortretende Unterschiede aufmerksam machen: die Bänder α des Eipigmentes beginnen 1. immer hart an F, während deren Anfang beim Lipochrin ausnahmslos und mit grosser Deutlichkeit vor F in den Raum zwischen b und F fällt, und 2. ist die Absorption beim Eipigmente am Bande α niemals schwächer als an dem Streifen β, wie es für das Lipochrin constant gilt. Diese Differenzen scheinen uns so schwer wiegend und an sich schon einer Identitätsannahme hinderlich, dass es kaum weiter in's Gewicht fällt, wenn die Spektra der CS_2-Lösungen hinsichtlich der diffusen Absorption des violetten Endes noch so bedeutende Unterschiede, wie die in Fig. 6 u. 11 verzeichneten, aufweisen.

Mehrere nach der Farbe zu unterscheidende oder im Spektralverhalten abweichende Lösungen aus der Dotterseife durch fractionirte Extraktion zu erhalten, gelang so wenig, wie die Darstellung krystallinischen Pigments. An der amorphen Masse fiel uns die etwas grössere Löslichkeit in verdünnter Natronlauge, erkennbar an der hellgelben Färbung des Filtrates, auf, sehr im Gegensatze zu der kaum zu behauptenden Färbung, welche die zuvor genannten Pigmente Alkalien ertheilten. Doch kann diese Differenz auf schwerer zu entfernenden Beimengungen beruhen. Wie

Digitized by Google

schon bemerkt führte das Verarbeiten der Eierseife in Barytverbindungen zu keinem andern Ziele, als die allgemein von uns befolgte Methode, ja die staubtrockenen Barytseifen hatten sogar den Nachtheil in Aether anzuquellen und damit eine äusserst schwierig zu filtrirende Masse zu geben. Die Lichtempfindlichkeit des Dotterpigmentes, das man Ontochrin nennen könnte, fanden wir in der ätherischen und alkoholischen Lösung, oder nach dem Aufnehmen in Galle, etwa so, wie die des Lipochrins, also ebenfalls grösser, als die der Pigmente in der Vogelretina.

In Fig. 12 u. 13 haben wir noch Abbildungen der Spektra von Lösungen des Luteïns aus dem verseiften Rückstande von Aetherextrakten der Corpora lutea der Kuh gegeben. Wie man sieht, ist die Uebereinstimmung bei der ätherischen Lösung mit der gleichen des gereinigten Eigelbs so gut, wie vollkommen, bei der CS_2-Lösung aber nicht vorhanden, insofern Fig. 13 allein totale Aufhellung im Violet zeigt. Dies auf Unterschiede der Concentration zu beziehen, ist unzulässig, weil die gezeichneten Differenzen grade dann am deutlichsten waren, wenn jede der Lösungen die beiden im Grün und Blau gelegenen Bänder mit gleicher Schärfe zum Vorschein kommen liess. In Petroläther gelöst, giebt das Luteïn ein Spectrum, das von dem der ätherischen Lösung nur in der Lage des Bandes α ein wenig abweicht. Auf Fig. 12 ist es durch die punktirte Curve angemerkt.

Das Verhalten des Eigelbs und des Luteïns zu starker NH_3O und SH_2O_4 ist seit lange bekannt; wie *Capranica* gelang es auch uns am Luteïn die *Schwalbe*'sche Jodreaction deutlich hervorzubringen, während das Ontochrin mit dem Reagens mehr schmutzig grün wurde.

Da von den sämmtlichen hier erörterten Pigmenten bisher keines im Zustande vollkommener chemischer Reinheit dargestellt

Digitized by Google

ist, wird man sich eingehender Betrachtungen über ihre chemische Verwandtschaft einstweilen enthalten müssen. Wir haben es am Luteïn erlebt, dass einzelne Reactionen und Löslichkeitsverhältnisse zur Verwechselung desselben mit dem Bilirubin und zu so schwerer Verwirrung in der Lehre von den Gallenfarbstoffen führten, dass viel Arbeit nöthig wurde, um sie wieder davon zu befreien. Und doch wäre jener Irrthum nicht begangen, obwohl die chemische Kenntniss der verwechselten Stoffe sich erst entwickelt, wenn Differenzen von der Ordnung der hier zwischen Farbstoffen geschilderten sogleich beachtet wären. Ohne Frage sind die optischen Methoden von ausserordentlicher Feinheit und bei Substanzen, die nur in minimalen Mengen erreichbar bleiben, noch für lange Zeit die wesentlichen und unersetzbaren. Man wird sich darum um so mehr hüten müssen ihre Resultate zu unterschätzen und Unterschiede, die sie ergeben, zu unterdrücken, wo andere Methoden scheinbar Uebereinstimmung anzeigen. Auf die vorliegenden Fälle bezogen, würde Ignoriren der spektralanalytischen Befunde zunächst zu Verwechselungen führen, die etwa gleichbedeutend wären mit der Verwechselung von Hämoglobin und sog. Pikrocarmin, und es würde die Berufung auf einzelne chemische Reactionen, gegen manche weniger in die Augen fallende Spektraldifferenzen nur dazu beitragen, leicht zu unterscheidende Pigmente für ein und dasselbe halten zu lassen, wie es unglücklicher Weise bereits geschehen ist.

Indem wir die nun erwiesene Möglichkeit in der Vogelretina allein schon 3 gründlich verschiedene Pigmente zu scheiden und die starken Differenzen im spektroskopischen Verhalten der vorstehend erörterten Substanzen scharf hervorheben, glauben wir die fernere Untersuchung am besten auf den Weg zu leiten, der im physiologischen Interesse vor Allem einzuschlagen ist, wenn wir zu einer für die Lehre vom Sehen dringend nöthigen Kennt-

Digitized by Google

niss über die Absorption des Lichtes in der Retina gelangen wollen.

Heidelberg, 2. Januar 1878.

Taf. III., IV., V. stellen die im Text erörterten Spektra dar, deren Bedeutung durch die Ueberschriften auf den Taf. erklärt wird. Die Zeichnungen beginnen überall erst mit der *Fraunhofer'schen* Linie a, da in dem Roth von A bis a keine Absorptionen anzugeben sind.

Digitized by Google

Untersuchungen über den Sehpurpur.

(Schluss von Heft 3. S. 290.)

Von **A. Ewald** und **W. Kühne.**

III. Veränderungen des Sehpurpurs und der Retina im Leben.

Innerhalb der normalen Lebensbedingungen ist bis jetzt nur eine Ursache der Veränderung und Entfärbung des Sehpurpurs bekannt: sie ist das ins Auge fallende Licht; und nur eine der Wiederkehr des Purpurs, in der Entziehung des Lichtes, das ihn zersetzte. Die Retinafarbe wird wieder hergestellt in der Dunkelheit, durch schwaches oder durch rothes Licht. Nur derjenige Purpur wird zersetzt, den das Licht erreicht: die Wirkung ist eine örtliche, direkte. Thiere mit verbundenen Augen, der Sonne beliebig lange ausgesetzt, behalten die Retinafarbe und wenn nur ein Auge belichtet ist, wird der Purpur des anderen niemals in Mitleidenschaft gezogen. Dies ergaben Versuche an Kaninchen und an Fröschen im normalen Zustande und in der Lähmung durch Curare. An Kaninchen wurde es constatirt, indem man sie fesselte, ein Auge der Sonne zuwandte und das andere gegen ein dunkles Polster drückte, an Fröschen in ähnlicher Weise nach Vergiftung mit Curare oder durch Anlegen und Annähen starker Kautschukstreifen über ein Auge.

Ausnahmen von diesem Verhalten sind nur denkbar, wo Licht durch ein Auge in das andere gelangt. Dass dies bei manchen Vögeln der Fall ist, lehrt die hübsche Beobachtung von *Czerny* (Wien. Acad. Ber. LVI) über die Sichtbarkeit des

Digitized by Google

Augengrundes der Taube, wenn man durch die Cornea hineinsieht, während das Auge der anderen Seite ausschliesslich Licht empfängt. Es scheint so viel Licht durch die dünnen Gewebsmassen, welche die beiden hinteren Augenpole im Schädel trennen, dass das zweite Auge sogar recht intensiv beleuchtet wird. An der lebenden Taube fanden wir die Erhellung indess sehr unbedeutend und nur mit höchst intensivem Lichte unter vollkommenem Schutze des beobachteten und des eigenen Auges bemerkbar, offenbar weil das Blut im Schädel viel Licht absorbirte; doch war an einer albinotischen Taube noch so viel zu sehen, dass man glauben musste, sie sähe es selbst und werde deshalb noch Licht empfinden, wenn z. B. das gegenüberstehende Auge ohne Trübung erblinden und ausschliesslich Licht empfangen sollte. Kleinere Vögel mit noch zarterer, die Augen trennender Zwischenschicht könnten es deshalb wohl erleben, dass sehr intensives Licht ihnen durch den Kopf ginge und den Purpur der dunklen Seite, falls sie solchen besitzen, etwas angriffe; es müsste aber dazu die Voraussetzung gemacht werden, dass die Blutschicht, welche durchschienen wird, dünn genug ist, um neben Roth noch Grün durchzulassen.

Beim Frosche kennen wir einen Zustand, der im Dunkeln den Sehpurpur zwar nicht schwinden macht, die Retinafarbe aber sehr bedeutend, bis zum blassen Rosa schwächen kann. Es geschieht dies bei nicht zu kalt gehaltenen, mehrere Tage dem Curareödem unterworfenen Thieren. Die Erscheinung tritt während des Lebens ein und wurde nicht nur bei wohl erhaltenem Herzschlage beobachtet, sondern auch an Exemplaren, von denen wir nicht zweifeln, dass sie die Lähmung so gut überstanden haben würden, wie ihre mit der gleichen Dosis vergifteten und unter gleichen Bedingungen gehaltenen Genossen, die sich erholten. Da Curarevergiftung an und für sich die Purpurmenge gar nicht beeinflusst und das Oedem das Wesentliche ist, wird man an-

Digitized by Google

nehmen können, dass die lebhaftere Lymphströmung, also Resorption die Ursache der Erscheinung ist und dass der Purpur aus den Stäbchen zum grössten Theile ausgelaugt wird. Wir können nicht umhin, dabei wieder des S. 174 erwähnten Befundes gänzlichen Fehlens des Sehpurpurs in einem normalen menschlichen Dunkelauge von *Michel* zu gedenken, wo ähnliche Verhältnisse geänderter Resorption vorgelegen haben müssen.

Im 4. Hefte des Archivs f. Anat. u. Physiol. 1877 S. 437 bemerkt *O. Langendorff* gelegentlich, dass der Sehpurpur Fröschen, welche seit langer Zeit enthirnt und deren Sehnerven durchschnitten worden, noch normal gefärbte Retinae gezeigt hätten. Wir können dies bestätigen und hinzufügen, dass wir 3—4 Tage nach der Enthirnung die Fähigkeit der Retina erhalten fanden, nach gründlicher Besonnung in normaler Zeit wieder Purpur im Dunkeln zu bilden. Der epithelhaltige Augengrund solcher Frösche regenerirte auch für sich in der gewöhnlichen Weise eine zuvor isolirt gebleichte Netzhaut, wenn sie darauf gelegt wurde. Diese Versuche bedürfen der Ausdehnung auf seit längerer Zeit operirte Thiere und auf die Säuger.

Bestimmungen über die Geschwindigkeit der Purpurbleiche intra vitam sind bis heute in umfassenderer Weise nur am Frosche vorgenommen, wo sie bekanntlich das für die Auffassung der Netzhautfarbe, als einer zum Sehen essentiellen Substanz, sehr hinderliche Resultate ergaben, dass Licht, welches für die Zwecke des Sehens weitaus genügt, die Retinafarbe gar nicht angreift und solches, das diese Intensität mindestens hundertfach überschreitet, beträchtlicher Zeit, ja directes Sonnenlicht wenigstens 10 Minuten bedarf, um den Sehpurpur merklich zu ändern oder total zu entfärben. Es konnte also nur die Beobachtung, dass die herausgenommene Froschnetzhaut ausschliesslich durch Licht gebleicht und von mässigem Lichte mit erstaunlicher Geschwindigkeit verändert wird, die Annahme rechtfertigen, dass die In-

Digitized by Google

dolenz des Froschpurpurs intra vitam scheinbar sei und auf Schwinden mit Ersatz beruhe. Leider ist einstweilen über diese Rechtfertigung nicht hinauszukommen und an den Poikilothermen durch keine exakte Beweisführung die Möglichkeit zu widerlegen, dass im lebenden Auge oder in der epithelhaltigen Retina bis zum Eintritte maximaler Blendung wirkliche Indolenz des Sehpurpurs vorliege, welche die Regeneration natürlich unnöthig machen oder ausschliessen würde.

Im Gegensatze zu den zeitlichen Verhältnissen beim Frosche wird die Netzhautfarbe der Säuger und vermuthlich fast aller Homöothermen intra vitam mindestens 60mal schneller von dem gleichen Lichte gebleicht.

Um diese Zeit zu bestimmen, haben wir zuvor im Dunkeln gehaltene Kaninchen ins Freie unter Glasglocken gesetzt und deren Netzhäute nach Belichtungen verschiedener Dauer in bekannter Weise untersucht, meist unter Anwendung der Alaunhärtung, die für die Erhaltung der Farbe ein vollkommen zuverlässiges Mittel ist und in allen Fällen das Hervorziehen und Umdrehen der Membranen ohne Verletzungen gestattet, was ohne Härtung selten glückt. Das Verfahren gab ausserordentlich wechselnde Resultate, oft so grosse zeitliche Differenzen von Minuten, wie von Stunden und nicht selten örtliche von einem Auge zum andern, dass wir es nach den ersten verlorenen Bemühungen gänzlich fallen liessen. Man brauchte den Kaninchen nur zuzusehen, wie sie die Augen bald länger schlossen, oder eines gegen das Glas oder sonstige erreichbare Gegenstände drückten, um zu wissen, dass auf diese Weise nicht zu experimentiren und nur mit der optographischen Methode zu arbeiten sei. Doch verfehlen wir nicht, die Angabe von *Coccius*[1]) zu bestätigen, dass im Hellen gehaltene Kaninchen oft ganz entfärbte Netzhäute

[1]) *Coccius:* über die Diagnose des Sehpurpurs im Leben. Progr. Leipzig 1877.

Digitized by Google

haben und dann längerer Dunkelheit bedürfen, um wieder Sehpurpur zu zeigen.

Die vorstehende allgemeine Bemerkung über die grosse Geschwindigkeit der Purpurbleiche bei Säugethieren bezieht sich bereits auf intra vitam hergestellte Optogramme, denn die Ausbildung und Verbesserung der Methoden belehrte uns, dass die früheren Angaben (Hft. I., S. 97) bezüglich der erforderlichen Zeiten (3—5 Min.) viel zu hoch gegriffen waren.

Zur Beurtheilung des befolgten experimentellen Verfahrens schicken wir eine kurze Beschreibung unserer Einrichtungen voran. Der Arbeitsraum befindet sich in einem besonders dafür hergestellten Häuschen, das statt der Fenster nur kleine, ohne Schwierigkeiten lichtdicht zu verschliessende Oeffnungen zum Einsetzen von Heliostaten hat. Im Innern sind die Wände, der Fussboden und die direct unter dem schrägen Dache horizontal gezogene Decke mit mattschwarzer Farbe gestrichen. Durch die Decke ragt ein hohler, vierseitiger Conus bis auf 1,60 Met. Entfernung vom Fussboden nach abwärts, dessen untere Oeffnung mit einer passenden, einfachen Figur versehen, das optographische Object darstellt. Heft 3, S. 232 und 233 sind das letztere und die Vorrichtungen, welche es von oben erleuchten, bereits beschrieben. Unter dem Objecte kann in dessen etwas vorspringenden Rahmen eine schwarze Papp- oder Glastafel eingeschoben und damit die Figur verdeckt und der ganze Arbeitsraum völlig verdunkelt werden. Räumliche, in der Dachconstruction gegebene Verhältnisse hatten uns darauf verzichten lassen, die obere Weite des Lichttrichters grösser, als 4270 □ Ctm. zu nehmen, es stellte sich aber heraus, dass sie vollkommen genügte, da wir gewöhnlich keine grösseren Intensitäten nöthig fanden, als die mit der Vorrichtung von 10 Uhr Morgens bis 3 Uhr Nachmittags an den trübsten Wintertagen zu erzielenden und bei Sonnenschein oder sehr hellem, weissbewölktem Himmel über dem matten Glase noch dämpfen mussten.

Digitized by Google

An den Wänden der Kammer befinden sich Gaslampen mit *Bunsen*'schen Brennern zur Herstellung von Natronlicht, worin alle vor oder nach der optographischen Exposition nöthigen Operationen bequem auszuführen sind.

Anfänglich wurden nur mit Curare gelähmte und durch künstliche Respiration am Leben erhaltene Kaninchen verwendet; als wir aber sahen, dass die Thiere im *Czermak*'schen Halter jede gewünschte Zeit vollkommen ruhig bleiben, wenn man sie nicht erschreckt und mit einiger Regelmässigkeit streichelt und dass sich das Auge durch 3 in die Conjunctiva gelegte Fäden genügend fixiren lässt, haben wir den Gebrauch des Giftes ganz aufgegeben. Dagegen wurde der Accomodationsapparat in allen Augen durch Einträufeln einiger Tropfen 1procentiger Atropinsulfatlösung ausser Wirksamkeit gesetzt, und wenn keine Fixirfäden gebraucht wurden, ein federnder durch Schrauben gesicherter Lidhalter in die Lidspalte gesetzt.

Unter diesen Umständen fanden wir von unserem Objecte, wenn dessen Entfernung vom Corneascheitel 24—25 Ctm. betrug, nach genügender Exposition jedesmal ein haarscharfes Optogramm, worin sich die am wenigsten verzerrten, durch den hinteren Pol laufenden Streifen, deren Objectgrösse = 5 Ctm. war, 1,5 mm. breit abbildeten. Der fixirte Kaninchenkopf wurde mittelst des Halterbrettes auf einen hohen, vertical verstellbaren Tisch so gesetzt, dass sich das Centrum der Cornea möglichst genau senkrecht unter dem Mittelpunkte des Objectes befand, was nach dem ersten Ausprobiren durch Beachtung einiger auf der Unterlage angebrachter Zeichen immer leicht zu erreichen war. Die einzigen Unregelmässigkeiten der Stellung, welche jetzt vorkommen konnten, lagen in der des Auges zum Kopfe durch die Fixirfäden und in der Drehung, welche der Kopf selbst um seine Längsaxe mittels des Halters erhielt. Es kam aber selten etwas darauf an, ob die Optogrammstreifen überall senkrecht oder

Digitized by Google

unter irgend welchem Winkel zu dem dunkleren Purpurstreifen, welcher in der Kaninchennetzhaut ungefähr an der Stelle des horizontalen Trennungsmeridians liegt, verliefen, falls nur Theile des Bildes vorhanden waren, welche solchen Strahlen entsprachen, die nahe am Corneascheitel aufgefallen und in die Nähe des hinteren Poles gebrochen waren.

Zur Untersuchung des Optogramms kam ausnahmslos Alaunhärtung in Verwendung und zwar in der schon angegebenen Weise (Hft. I, S. 83) mit Lösungen von 4 pCt. Da die frühere Beschreibung des Verfahrens nicht ausführlich genug gewesen und es zu unserer Kenntniss gekommen ist, dass viele Beobachter darnach vergeblich zu arbeiten versuchten, wird hier nachgetragen, dass das Auge erst nach dem Eröffnen und Halbiren, vom Glaskörper befreit in Alaun zu versenken ist, ferner dass das Herausnehmen der Netzhaut nicht in der Lösung, sondern unter Wasser geschehen muss, um sie zugleich etwas auszuwaschen, wenn die Stäbchenschicht nicht nachträglich während des Trocknens der Präparate absplittern soll.

Glücklicher Weise eignet sich kein Auge so gut, wie das des Kaninchens, um mit der optographischen Methode über die Grade der Veränderung des Sehpurpurs nach Belichtung zu entscheiden. Abgesehen von den Vortheilen, welche der weisse Streif der markhaltigen Nervenfasern und der hohe Eintritt des Sehnerven zur raschen Orientirung auf der Netzhautfläche gewähren, besitzt dieses Auge in dem intensiver gefärbten Purpurstreifen, den wir die Sehleiste nennen wollen, ein ausgezeichnetes Reactionsband, an welchem die Intensität oder die Dauer der Belichtung leicht zu beurtheilen ist, wenn man dessen Veränderungen mit den auf der übrigen Fläche entstandenen vergleicht. Ein Bild, das im Allgemeinen auf der Netzhautfläche nur angedeutet ist, wird durch die Leiste vollkommen unterbrochen, und eine in der ersteren deutliche Zeichnung ist auf der Leiste oft

Digitized by Google

noch verwaschen u. s. w. Es lassen sich daher verschiedene Stadien der Lichtwirkung durch Beschreibung des Optogramms, wie es auf und neben der Leiste aussieht, geben und indem wir diese voranstellen, hoffen wir die Erörterung des Späteren zu vereinfachen.

I. Nach der kürzesten und schwächsten Belichtung ist nur der centrale Theil des Bildes durch eine Nuance der Farbe angedeutet, ausschliesslich auf der Fläche, gar nicht auf der Leiste sichtbar. (Unter der Fläche ist hier und später der nicht von der Leiste eingenommene Theil der Retina und vorwiegend dessen unterer Abschnitt gemeint.) Man sieht die belichteten Streifen mehr reinroth oder brandroth, weniger purpurn, zwischen den ganz unverändert purpurfarbigen und kann sie zählen, aber da das Bild diffus ist, ihre Breite nicht messen. Die Sehleiste ist continuirlich dunkelpurpurfarbig.

II. Etwas intensivere oder längere Belichtung erzeugt ein ähnlich diffuses Bild; die hellen Theile sind blassrosa, nicht roth; in der Sehleiste sind ihnen correspondirende reinrothe, zählbare Flecken zu sehen.

Nach weiterer Verlängerung der Exposition oder Zunahme der Intensität entstehen die folgenden Optogramme:

III. Auf der Fläche ist das Bild in hellem Gelb und Purpur ausgeführt, die Leiste durch schärfere Einschnitte von blass rosenrother Farbe unterbrochen. Jetzt sind die Streifen neben der Sehleiste gut zu messen.

IV. Das Bild ist wie in III., aber der durch den Pol gehende oder demselben benachbarte Streif ist rein weiss, seine Fortsetzung auf der Leiste hellgelb.

V. Die Streifen sind auf der Fläche scharf weiss und purpurn gezeichnet, in der Sehleiste hellgelb und dort auch messbar.

VI. Die Streifen ziehen ohne Unterbrechung über die Sehleiste

Digitized by Google

farblos weg; den dunklen Stellen entsprechen auf der letzteren purpurne, auf der Fläche reinrothe Bänder (vollkommenes Optogramm).

VII. Die weissen Streifen sind breiter, als die farbigen, diese an den Rändern mehr reinroth, orange, rosa oder gelblich (Ueberexposition).

VIII. Die farbigen Streifen stehen als ganz schmale, orangefarbene Linien zwischen den breit übergreifenden farblosen; alle Theile der Retina sind blassorange oder gelblich, die äussersten peripherischen mehr rosa. Um von diesem Zustande bis zur vollkommenen diffusen und ganz nach vorn herumreichenden Ausbleichung zu gelangen, bedarf es noch mindestens halbstündiger Exposition.

Zu unserer eigenen Ueberraschung haben wir gefunden, dass das erste Stadium schon nach 10—15 Sec. erkennbar, nach ½ Min. mehr als deutlich ist, dass das Stadium II nach 30 Sec. oft, nach 45 Sec. sicher zu sehen ist, dass III nach 1 Min., IV nach 1½ Min., V nach 2 Min. vollkommen, VI nach 3 Min., VII in 3—5 Min., VIII nach 6—10 Min. erhalten werden. Die Ueberraschung darüber war um so grösser, als die ganze Versuchsreihe bei dem schlechtesten Lichte, das wir überhaupt im Winter hatten, angestellt wurde, bei einem Lichte, das zur selben Zeit von 11—1 Uhr zum Mikroskopiren in bester Lage gegen den südlichen Himmel recht unbequem war. Wir halten es daher für sehr möglich, erkennbare Augenblicksoptogramme mit dem Kaninchenauge zu gewinnen, wenn das beste Tageslicht oder Sonnenlicht mit geeigneter Dämpfung verwendet wird.

Von *Coccius* ist angegeben, dass die Netzhaut im Freien gehaltener Kaninchen nach längerem Verweilen im Dunkeln noch sehr blass oder farblos sei. Wir fanden dies durchaus bestätigt und waren erstaunt den Verlauf der Dunkelregeneration beim

Digitized by Google

Kaninchen wenig anders, als beim Frosche zu finden, nachdem uns die optographische Methode mit den colossalen Unterschieden im Gange der Ausbleichung bekannt gemacht hatte. Es gab aber viele Gründe uns diese Erfahrung nicht zu hoch anschlagen zu lassen, schon weil sie aus einer Methode hervorgegangen war, die über das Ausbleichen nichts Scharfes ergeben hatte und darum noch weniger über die Rückkehr des Purpurs zu entscheiden versprach. Unsere zeitmessenden optographischen Versuche schlossen bereits die Verwendung der besseren Methode zur Bestimmung der Regenerationszeiten ein, denn man brauchte nur erst ein Optogramm auf dem einen Auge herzustellen, das Kaninchen umzuwenden und das zweite Auge zur folgenden Aufnahme herzurichten, um das erste Bild nach einem beliebigen, der Regeneration gewährten Intervalle untersuchen zu können. Wurde das Kaninchen unmittelbar nach Beendigung der letzten Aufnahme getödtet und die Augen schnell präparirt in Alaun geworfen, so waren zwei Optogramme zu vergleichen, von denen das zuletzt entstandene nur einige Sekunden postmortaler Regeneration, das erste denselben Process intra vitam von der gewünschten Dauer erfahren hatte. Ausserdem konnte durch Zurückhalten der Augen im abgeschlagenen Kopfe vor der Ueberführung in das Alaunbad die postmortale Regeneration allein oder der vitalen folgend, zugelassen und ihre Wirkung untersucht werden.

In dieser Weise wurden folgende Versuche ausgeführt: Den 30. Nov. wird das linke Auge L von 11 U. 27 Min. bis 11 U. 32 Min. exponirt, das rechte Auge R von 11 U. 34 Min. bis 11 U. 37 Min. Decapitation um 11 U. 39 Min. L liegt in Alaun um 11 U. 44½ Min., R um 11 U. 41½ Min. Es waren also exponirt L und R je 5 Min.; L waren 7 Min. zur Regeneration im Leben, 5½ Min. postmortal, R nur postmortale Regeneration von 2½ Min. gewährt. Das Licht war von mittlerer

Digitized by Google

Helligkeit. Die Optogramme waren vollständig gleich, ihre Streifen sehr scharf, die hellen auch in der Sehleiste ganz farblos. Die Zeit hatte zur Regeneration nicht gereicht.

Wir nahmen jetzt die Regenerationszeit bedeutend länger, exponirten beide Augen wieder je 5 Min., gaben dem ersten Auge 35 Min. während des Lebens Ruhe in der Dunkelheit, indem wir es, wie immer, so lange gegen schwarze Wolle drückten, als die Exposition des andern Auges dauerte, und warfen es 8 Min. nach dem Tode in Alaun, in welchen das letzt exponirte sofort gelegt war. In der üblichen Weise nach 24 Stunden auf kleinen Porzellanschälchen mit der Rückfläche nach oben ausgebreitet, boten die Retinae jetzt zwei sehr verschiedene Bilder: das letzt erhaltene, etwas überexponirte war weiss und roth ausgeführt, das zuerst erzeugte in blassem Rosa und intensivem Purpur, etwa dem Stadium II entsprechend. Hiernach braucht ein vollkommenes, richtiger ein Optogramm des Stadium VII, oder eine Stelle der Netzhaut, welche in 5 Min. gänzlich ausgeblichen ist, mindestens 35 Min. Ruhe im Dunkeln, um wieder erkennbar purpurn (rosa) gefärbt zu werden.

Da in 5 Min. bereits Ueberexposition erzielt wird, liessen wir weiterhin das Licht nur 3 Min. wirken, und gewährten dem ersten Auge, das jetzt zuerst und sofort nach dem Tode in Alaun kam, 33 Min. Regenerationszeit, dem zweiten 6 Min. vom Tode bis zum Alaunbad. Das Optogramm des letzteren war untadelhaft in reinem Weiss und Purpur ausgeführt und überschritt die Sehleiste ohne Unterbrechung des Weiss. Die Netzhaut des ersten Auges zeigte noch Spuren des Bildes in verschiedenen rosafarbenen Nuancen, wovon man sich am besten auf der Sehleiste überzeugte.

Ein anderer Versuch unter denselben zeitlichen Verhältnissen mit vielleicht etwas geringerer Lichtintensität angestellt, ergab noch vollkommnere Regeneration, so dass unbetheiligte Personen,

Digitized by Google

denen nur die wieder ausgeruhte Retina vorgelegt wurde, sie für unbelichtet erklärten und die etwas weniger purpurn gefärbten Stellen auf der Sehleiste, die wir, der Distanz der Streifen entsprechend, noch wahrzunehmen glaubten, nicht bemerkten. Das andere Controlauge hatte ein vollkommenes Optogramm des Stadium VI geliefert.

Aus den angeführten Versuchen ist zu schliessen, dass ein vollkommener, sich auch auf die Sehleiste erstreckender Verlust an Sehpurpur in der Kaninchennetzhaut mindestens 33 Min. Dunkelheit zu vollkommenem Wiederersatze erfordert und dass der Anfang der Regeneration nach 7 Min. bemerkbar wird.

Die am Frosche gewonnenen Erfahrungen machten es auch für das Kaninchen wahrscheinlich, dass diese Zeit bedeutend kürzer ausfallen werde, wenn man es nicht bis zu totaler Ausbleichung des Purpurs kommen liess, und wir haben in der That gefunden, dass die Anfänge der Optogramme so schnell wieder verwischt werden, wie es die auf die Photochemie des Purpurs begründete Hypothese des Sehens erfordert.

Bei einem folgenden Experimente, wo die Exposition wieder 3 Min., aber während eines äusserst dichten Winternebels stattgefunden hatte, fanden wir das Optogramm an sich gerade genügend, d. h. scharf und messbar, aber überall und besonders in der Sehleiste noch schwach farbig, etwas chamois. Hier hatten für das zuerst gebildete 18 Min. Dunkelwirkung intra vitam genügt, um es fast auszulöschen, wieder so, dass nur in der Leiste für Kenner noch Spuren zu bemerken waren. Diese letzten Spuren scheinen sich nach unseren zahlreichen Beobachtungen überhaupt erst nach 50—60 Min. zu verwischen, falls das Bild auf der Leiste durch annähernd vollkommene Ausbleichung entstanden war.

Begreiflich zeigten alle nicht überexponirten Optogramme an der Peripherie des Bildes weniger ausgeprägte Differenzen der

Digitized by Google

belichteten und der dunkel gebliebenen Stellen, als central, der Art, dass z. B. die mittleren Streifen in weiss und roth ausgeführt waren, wo die peripherischen orange, gelb oder chamois zwischen purpurnen standen. Wenn es richtig war, dass die vollkommen gebleichte Retina unverhältnissmässig langsamer regenerirt wird, als die nur angebleichte, welche noch Reste von Sehgelb oder Sehpurpur enthält, so musste jener Unterschied zwischen den mittleren und den Randtheilen des Bildes durch Regeneration zu verstärken sein und ein neues Mittel gewähren, um den Grad der Regeneration zu beurtheilen. Dies trifft in der auffälligsten Weise zu, und wir hätten uns darum überall wo Regeneration ins Spiel kam, richtiger ausgedrückt, wenn wir, statt von Optogrammen schlechthin zu reden, angegeben hätten, dass deren centraler Theil, oft nur der eine mittelste Streif mit den ihm benachbarten beiden dunklen Bändern gemeint gewesen. Indem wir auf die Randtheile achteten, fanden wir, dass dort sehr deutliche, aber in sehr hellem Rosa und Purpur oder in Orange bis Gelb und Chamois neben dem Purpur ausgeführte Zeichnungen in der That schon nach höchstens 10 Min. verwischt werden. Das war selbst in den ersten Stadien der Ueberexposition an den alleräussersten Randtheilen bemerkbar, vollends an den nur 3 Min. bei ungünstigstem Lichte exponirten und bei den unvollkommenen Bildern der beiden Stadien I und II in solchem Grade der Fall, dass wir uns wenigstens für die gerade gut kenntlichen Bilder gar nicht getrauen die Zeit anzugeben, welche zu ihrem Erlöschen genügt. Wir können nur sagen, dass man sich ausserordentlich mit der Decapitation und der Zurichtung des Auges für das Alaunbad eilen muss, wenn man die in $^1/_4$ Min. herstellbaren Bilder überhaupt sehen will. Optogramme, welche in $1^1/_2$ Min. entstanden sind, brauchen im Allgemeinen 15 Min., in 1 Min. hergestellte 10 Min., um wieder zu verschwinden, und es tritt dabei sehr

Digitized by Google

häufig das ein, was man erwarten konnte, nämlich dass, wenn von dem Bilde überhaupt noch etwas zu merken ist, dieser Rest aus einem einzigen etwas heller nuancirten Bande in der Nähe des hinteren Poles besteht.

Offenbar ist das Auge des Menschen und vieler Thiere in der Lage nach flüchtigen Lichteindrücken, welche selbst in örtlicher Einschränkung keine totale Purpurbleiche aufkommen lassen, der Retina die zum Regeneriren nöthige kurze Zeit der Ruhe und Dunkelheit zu gewähren, und wenn dies durch den Lidschlag geschieht und durch das Lid noch etwas Licht dringt, so ist es zu unserem Vortheile rothes, welches das Blut seiner wirksamsten Schwingungen auf den Sehpurpur beraubte. Wir haben freilich die Ueberzeugung, dass das menschliche Auge in der Tagesarbeit unter gewöhnlichen Verhältnissen vielfach um seinen Purpur kommt und dann wol nahezu 40 Minuten, wenn nicht mehr, braucht, um wieder zu dem normalen Gehalte zu gelangen; in dem mittleren Lichte aber, das wir für feinere Arbeit bevorzugen, und in der Beleuchtung, die wir namentlich zum dauernden Sehen verwenden, dürfte der Sehpurpur immer nur theilweise in einem Stäbchen zersetzt werden und statt der Neubildung nur Rückbildung seitens des Epithels beanspruchen. Die letztere ist es aber, welche halbe Stunden, die erstere, welche Minuten, vielleicht nur Secunden oder Bruchtheile von Secunden in Anspruch nimmt, und wenn dem so ist, so wird die dazu nöthige Verdunkelung entweder erreicht, indem wir den Blick von hellen Objekten auf dunkle gleiten lassen, oder ebenso unbewusst durch den Lidschlag; andernfalls müssten wir gewärtig sein, unsern Sehpurpur für länger als eine halbe Stunde, wie das Kaninchen unter dem optographischen Objekte, zu verlieren, wenn wir nur 3 Min. zum Fenster hinaus dem Zuge der Winternebel folgen, was Niemandes Auge anstrengt.

Um aus solchen Ueberlegungen wissenschaftliches Gut zu

Digitized by Google

machen, gibt es keinen andern Weg, als die Beobachtung am menschlichen Auge und es ist darum sehr zu beklagen, dass es bis heute nicht gelungen ist, mit dem Augenspiegel zu entscheiden, ob der Sehpurpur an der Leuchtfarbe des Augengrundes betheiligt sei, und dass Niemand von dem lebenden Auge sagen kann, ob es purpurhaltig ist oder nicht. Es wird desshalb jede Angabe über die Farbe menschlicher Netzhäute von Werth sein, wenn ihr die Bedingungen, unter welchen das Auge sich vorher befunden, hinzuzufügen sind. Schon die eine von *Schenk* und *Zuckerkandl* gefundene Thatsache, dass das Auge eines nach Sonnenaufgang unter freiem Himmel Hingerichteten purpurhaltig und den Angaben nach mindestens so purpurreich, wie die meisten bis jetzt untersuchten Dunkelaugen gewesen (vergl. Hft. I, S. 33), ist desshalb hoch schätzbar und hätte wohl verdient, bei ihrer weiteren Verbreitung durch Referate vollständig mit Rücksicht auf die Belichtung wiedergegeben zu werden. Wir fügen derselben (vergl. die Nachträge) eine Beobachtung hinzu über Erhaltung des Purpurs bis zum Tode in einem von Gaslicht erleuchteten Sterbezimmer.

So weit es möglich war, haben wir versucht, über den Einfluss des Lidschlages und der Intermittenz des Lichtes auf den Gang der Purpurbleiche bei Thieren Aufschluss zu suchen. Hinsichtlich der Resultate und deren unmittelbarer Uebertragung auf das Sehen, was fast gleichbedeutend mit der Annahme wäre, dass sich die Dinge beim Menschen ebenso verhalten, wie beim Kaninchen, ist im Voraus zu bemerken, dass wir sowohl in den bekannten Unterschieden des feineren Baues zwischen thierischen und menschlichen Netzhäuten, wie in der Thatsache, dass die meisten Thiere ausser dem Auge und dem Ohre in der Nase ein drittes fernreichendes Sinnesorgan besitzen, das dem Menschen beinahe abgeht, starke Gründe zur äussersten Zurückhaltung und zur ausschliesslichen Verwendung des Gefundenen auf das noch

Digitized by Google

genauer zu untersuchende Sehvermögen der Versuchsthiere finden.

Zum Optographiren mit unterbrochener Belichtung wurde vor dem Auge eine dunkle Scheibe mit geeigneten Ausschnitten durch ein Uhrwerk gedreht. Um jede gewünschte Geschwindigkeit zu erhalten, wurde die bewegliche Axe mit Hülfe einer fest darauf gesetzten Rolle von kleinem Durchmesser und einer über deren rauhen Rand laufenden Schnur mit der Trommel des nach *Ludwig's* Angaben von *Baltzer* und *Schmidt* in Leipzig gebauten Kymographions in Verbindung gesetzt, dessen Umgänge bekanntlich innerhalb weiter zeitlicher Grenzen nach Willkür veränderlich sind. Die Trommel war an der Stelle, wo die Schnur um sie lag, zur Sicherung der Reibung mit einem Tuchstreifen überzogen. Es gelang so das Diaphragma der Scheibe mit grosser Regelmässigkeit über dem Auge vorbei zu bewegen.

Indem die Scheibe in der Secunde einmal umlief und die Diaphragmen 2 gegenüberliegende Quadranten einnahmen, wurde das Auge je $^1/_4$ Sec. beschattet und $^1/_4$ Sec. belichtet, also die halbe Versuchszeit exponirt unter 2maligem Wechsel von hell zu dunkel in 1 Secunde. Als Belichtungszeit wählten wir zunächst diejenige, welche ununterbrochen mit Sicherheit vollkommene, eher über- als unterexponirte Optogramme lieferte, also 3 Min., im Ganzen jetzt 6 Min. Das Kaninchen wurde wie gewöhnlich aufgestellt und die drehbare Scheibe möglichst nahe über das Auge gerückt. Nach weiteren 6 Minuten befand sich das zweite Auge unter dem beweglichen Diaphragma; es wurde 3 Minuten exponirt. Bis zum Decapitiren verging noch 1 Min. Aus dem Alaun genommen zeigte das erste Auge, das also während 3 Min. Licht erhalten und zur Regeneration 10 Min. (6 + 3 + 1 Min.) Zeit gehabt hatte, welche für diese Expositionszeit früher durchaus nicht genügt hatte, das Bild wieder unkenntlich zu machen, nur Spuren des Optogramms, das nur aus zwei kenntlichen,

Digitized by Google

etwas heller gefärbten Streifen bestand, nichts von seinen peripherischen Theilen errathen liess und auf der Sehleiste kaum zu bemerken war. An dem andern Auge, das im Ganzen $1^1/_2$ Min., also vollauf genügend um ein sehr kenntliches Bild zu liefern, belichtet worden, war keine Spur des Optogramms zu erblicken. Hier fällt jeder Verdacht weg, dass erblasste Stellen nachträglich regenerirt worden. Der Versuch beweist, dass nach jedesmaliger $^1/_4$ Sec. dauernder Belichtung, ebenso lange Beschattung nahezu vollkommene Regeneration hervorbringt; wir sagen: „nahezu", obgleich die letzte Exposition von $1^1/_2$ Min. gar kein Bild gegeben hatte, weil der andere Versuch von der doppelten Zeit noch eins erzielte und wir uns nicht vorstellen mögen, dass es erst nach Ablauf der ersten $1^1/_2$ Min. angefangen habe, sich zu bilden. Unter Einhaltung derselben Zeiten haben wir diesen Versuch, schon um möglichst grosse Sicherheit im Experimentiren zu erwerben, viele Male bei der gleichen, fast ausschliesslich verfügbaren, sehr mässigen Intensität des Tageslichtes wiederholt und immer dasselbe oder fast gleiche Resultat erhalten.

Bei hellerem Lichte unter jagenden, weissen Wolken, das uns ausnahmsweise begünstigte, kamen trotz Intermittenz Optogramme aber schon in $^1/_2$ Min. zu Stande. An demselben Tage wurden 2 Versuche gemacht, indem das erste Auge jedesmal $1^1/_2$ Min., das zweite 1 Min. unter dem Apparate verweilten. Zwischen beiden Expositionen vergingen je 12 Min., so dass das erste Bild je 15 Min. Zeit zur Regeneration erhielt. Der Erfolg war bei dem zweiten Augenpaar der genannte, bei dem ersten, Abwesenheit jeglichen Optogramms. Für dieses Licht hatte die Zeit von 30 Sec., die es nach Abzug der Unterbrechungen auf die Retina fiel, genügt, das Stadium I etwa hervorzubringen und da es in dem jedesmal vorangegangenen Versuche 45 Sec. gewirkt hatte, musste das Optogramm dort noch besser gewesen sein,

Digitized by Google

immer aber schwach genug, um in den 15 Min. darauffolgender Dunkelheit wieder verwischt zu werden.

Noch ohnmächtiger erwies sich die Intermittenz bei weiterer Steigerung der Lichtintensität. Am 11. Jan. exponirten wir ein Auge um 12 Uhr in der gewohnten Weise, während der Himmel wolkenfrei war und die Sonne auf den oberen Verschluss des Lichttrichters fiel. Obwohl die Objecttafel keine direkten Sonnenstrahlen erhielt, wurde eins der Diaphragmen auf der Drehscheibe geschlossen, so dass nun auf $^1/_4$ Sec. Belichtung $^3/_4$ Sec. Schatten folgte. Das erste Auge wurde 6 Min. unter dem Apparate gehalten, also 90 Sec. belichtet, das zweite $^1/_2$ Min. später 3 Min., so dass es 45 Sec. Licht erhielt. Das Thier wurde darauf sofort getödtet. Das erste Auge, welches hiernach noch $3^1/_2$ Minuten Regenerationszeit erhalten hatte, zeigte 3 weisse Streifen, deren Fortsetzung auf der Sehleiste hell rosa aussah, während das zweite Auge nur einen kenntlichen Streifen, farblos mit rosa gefärbter Umgebung erkennen liess.

Unmittelbar nach diesem Versuche wurde bei fortdauerndem Sonnenschein an einem zweiten Kaninchen, unter Beibehaltung der eben genannten Intermittenz, das erste Auge 3 Min., das andere, 1 Min. später, $1^1/_2$ Min. exponirt und um weniger Licht in das Auge dringen zu lassen, ein kreisförmiges Diaphragma von 3,5 mm. Durchmesser unmittelbar über dem Corneascheitel befestigt. Im zweiten Auge war die Retina jetzt ganz unverändert purpurfarbig, während die des ersten zwar kein Optogramm, im Ganzen aber eine mehr reinrothe Färbung erkennen liess. Für die Intensität, welche das Licht jetzt im Auge noch haben konnte, war also die der Belichtungszeit dreimal überlegene Zeit der Verdunkelung hinreichend, um während 22,5 Sec. und 45 Sec. im Ganzen wirkender Bestrahlung keine bemerkbare Bleichung aufkommen zu lassen.

Unsere Absicht, am Kaninchen den Lidschlag nachzuahmen

Digitized by Google

oder die zeitlichen Verhältnisse des Blinzelns oder Plinkens menschlicher Augen auf das Kaninchen zu übertragen, scheiterte an der Unmöglichkeit am Kaninchen irgend welche Regel dieser Bewegungen herauszubringen. Ganz im Lichte oder vor einer hellen Oeffnung gehalten pflegten sie gar keinen eigentlichen Lidschlag vorzunehmen, sondern die Augen zuweilen für längere Zeit zu schliessen; es hatte daher keinen Sinn, diese indolenten Thiere unter dem optographischen Objecte, wo man sie noch fesseln musste, darauf gründlicher zu untersuchen. Da es auch am Menschen kurzer Hand nicht glücken wollte, bei der gegebenen Belichtung, Normen für den Lidschlag herauszubringen, insofern unbenachrichtigte Personen, die sich mit dem Kopfe unter das Object legten, bald ohne Lidschlag darauf starrten, bald in offenbar ungewohnter Weise häufig blinzelten, haben wir nur einige Versuche in der Art ausgeführt, dass wir mit der Hand jede zweite Secunde einen schwarzen Pappstreif mit solcher Geschwindigkeit vorbei bewegten, dass das Auge etwa so lange beschattet blieb, wie das eines daneben stehenden Menschen, wenn er das Lid senkte. Ein unter diesen Umständen in 3 Min. bei sehr trübem Lichte erhaltenes Optogramm war nicht merklich von den früheren, ohne alle Intermittenz in derselben Zeit gewonnenen, verschieden. Ebenso fiel ein Versuch mit dem Uhrwerke aus, als wir damit jede Secunde einen Streifen von 5 Ctm. Breite, 20 Ctm. von der Axe entfernt, vor der Cornea vorüberziehen liessen.

Nach diesen Erfahrungen bleibt es am gerathensten von den Lebensgewohnheiten, welche das Sehen der Thiere begleiten, abzusehen und die Frage rein experimentell zu behandeln, indem man die Zeiten und den Rhythmus herausprobirt, bei welchen der Sehpurpur in der lebenden Netzhaut trotz der Belichtung erhalten bleibt. Da dies nur durch eine sehr grosse Versuchsreihe möglich ist, und Herr Dr. *Ayres*, der uns schon bei der

Digitized by Google

vorstehenden sehr wirksam unterstützte, darüber bald weitere Mittheilungen wird geben können, beschränken wir uns auf die Anführung des Folgenden.

An einem der wie gewöhnlich trüben Tage, wo die Lichtintensität wieder so war, wie bei der überwiegenden Mehrzahl der Aufnahmen, wo also in 15 Sec. ein angedeutetes Bild, in 45 Sec. ein dem Stadium II entsprechendes erhalten wurde, exponirten wir noch einmal in derselben Weise, wie früher, so dass jede Belichtung $^1/_4$ Sec., jede Beschattung $^3/_4$ Sec. dauerte. Das erste Auge erhielt 45 Sec. Licht, das zweite 22,5 Sec.; die ganze Versuchsdauer betrug demnach je 3 Min. und $1^1/_2$ Min. Das zweite Auge wurde sofort höchstens $^1/_4$ Min. nach dem ersten eingestellt, das Thier unmittelbar darauf getödtet und die Augen mit grosser Eile in Alaun gebracht. Jetzt waren beide Retinae völlig unverändert, von Dunkelnetzhäuten gar nicht zu unterscheiden. Für das verwendete Licht mittlerer Helligkeit war also die eingehaltene Intermittenz die richtige, um die normale Entstehung des Bildes aufzuheben, oder die gewöhnliche kräftige Anfangsbleichung zu verwischen, was nur der Regeneration zugeschrieben werden kann.

Noch wirksamer erwiesen sich zwischen die Belichtung eingeschobene Beschattungen längerer Dauer. Wir verschlossen an der Scheibe eins der Diaphragmen, so dass unter sonst gleichbleibenden oder selbst günstigeren Verhältnissen die Belichtung statt der Hälfte nur $^1/_4$ der Versuchszeit dauerte und auf $^1/_4$ Sec. Belichtung je $^3/_4$ Sec. Beschattung folgten. Das erste Auge wurde bei besserem Lichte, als im vorigen Versuche, 8 Min. exponirt, also 2 Min. belichtet, das zweite in 2 Min. während 30 Sec. insolirt. Im ersten Auge zeigte sich eine äusserst schwache Andeutung eines hellen Streifens auf der Fläche, nicht in der Sehleiste, rosenfarben und so kurz, dass nur die Spur eines Bildes zu ahnen war. Im zweiten Auge war gar keine Veränderung zu bemerken.

Digitized by Google

Schliesslich wurde der Ausschnitt des einen Diaphragmas noch auf die Hälfte reducirt, so dass $^7/_8$ Sec. Dunkelheit mit $^1/_8$ Sec. Licht abwechselten. Der Versuch dauerte eine volle Stunde, die Retina erhielt (wieder bei recht günstigem Himmel) demnach Licht während der enormen Zeit von $7^1/_2$ Min. Dennoch bestand das Optogramm aus nur zwei rosafarbenen, sehr kurzen Streifen oder Flecken.

Erwägt man, mit welcher Geschwindigkeit der Purpur im lebenden Auge des Säugethieres bleicht und mit welcher Langsamkeit er beim Frosche intra vitam schwindet, erwägt man ferner, wie gross in dieser Hinsicht die Differenz zwischen der isolirten und der im lebenden oder überlebenden Froschauge befindlichen Netzhaut, wie klein sie beim Kaninchen ist, so scheint im Auge des Warmblüters von Indolenz des Purpurs kaum die Rede sein zu können und wenn man nicht die ungereimte Annahme machen will, dass der Regenerationsprocess beim Frosche mit trägem Stoffwechsel, kräftiger und schneller arbeite, als beim Warmblüter, wo die meisten chemischen Umsetzungen in viel kürzerer Zeit verlaufen, so erwecken die Thatsachen zunächst nicht grade Vertrauen zur allgemeinen Gültigkeit der vom Froschauge erschlossenen Processe. Dennoch sind dieselben maassgebend und es bleibt nur das Eine z. Zt. auffällig, dass die Kaninchennetzhaut nach totaler und kurze Zeit bestandener Purpurbleiche gegen 35 Min. und mehr Lebenszeit gebraucht, um wieder auf den alten Stand zu kommen. Immerhin ist diese Zeit kürzer, als beim Frosche und es wird die zeitliche Differenz der Lebensbleiche deshalb auf eine grössere Lichtempfindlichkeit der purpurnen Schicht, welcher der Regenerator trotz grösserer Leistungsfähigkeit nicht gewachsen ist, zurückzuführen sein.

Die nächste Annahme, zu welcher die unbefangene Ueber-

Digitized by Google

legung greift, dass der Purpur der Säuger ein anderer, lichtempfindlicherer chemischer Körper sei, als der des Frosches, liess nach den bis jetzt vorliegenden Erfahrungen im Stich, denn im gelösten Zustande zeigte er davon nichts. Wir haben möglichst gleich gefärbte Purpurlösungen vom Frosche, dem Rinde und dem Kaninchen in demselben Lichte gehalten in nicht merklich verschiedener Zeit ausbleichen und die Lichtbleiche in der isolirten Retina des Kaninchens nur um so viel schneller verlaufen sehen, als es nach der Längendifferenz gegenüber den Stäbchen des Frosches, d. h. wegen der geringeren Dicke der Purpurschicht zu erwarten war. Von welchem Einflusse dies sei, bedarf keiner Erörterung; wir haben es auch direkt an dem langsameren Bleichen der Retina einer Ratte beobachtet, wo die Stäbchen sehr lang sind und die Färbung in Folge davon so auffällig ist, wie es schon *Max Schultze* hervorhob. In der Kürze der Stäbchen ist also ein Moment gefunden, das die Vorgänge in den meisten Säugeraugen verständlicher und die Annahme verschiedener Purpurarten scheinbar unnöthig macht. Ein anderes vielleicht so nahe liegendes Moment, dass man es an erster Stelle vermisst haben wird, war in der Höhe der Körpertemperatur zu vermuthen. Dieselbe ist in der That von ausserordentlichem Einflusse, aber wir entdeckten es erst auf einem Umwege, nachdem wir die im nächsten Capitel zu beschreibende kaum merkbare Steigerung der Lichtempfindlichkeit des Froschpurpurs von + 10° bis + 37° und 38° C. in, wie ausserhalb der Netzhaut wider Erwarten bemerkt hatten. Ein Versuch am Lebenden gab erheblichere Differenzen zu Gunsten der Bluttemperatur, denn wir fanden die Retina eines im Wasserbade von 38° C. gefesselten Frosches, dessen Auge gegen den Himmel gerichtet worden, nach 15 Min. stark abgeblichen, während die des Controlthieres von 12° C. dazu mehr als 30 Min. gebrauchte. Glücklicher Weise brauchen wir uns auf diesen Versuch nicht zu berufen, denn das mikrosko-

Digitized by Google

pische Aussehen der im Leben erwärmten Retina musste Misstrauen gegen die Verwendung der Thatsache auf die vorliegende Frage und auf die Lebensverhältnisse überhaupt erwecken: die Retina war scheckig und enthielt ausser wirklich gebleichten Stäbchen ungewöhnlich viele Pseudooptogramme, wo nur Zapfen standen, während die Stäbchen im Augengrunde am Epithel sitzen geblieben waren.

Temperaturdifferenzen, die am Froschpurpur ohne Einfluss auf die Lichtbleiche waren, konnten an dem des Kaninchens Bedeutung haben. Wir erwärmten deshalb in der Weise, wie es im nächsten Capitel beschrieben wird, jedesmal neben einer Froschnetzhaut die Hälfte einer ganz frischen Kaninchenretina auf 37°,5 C. und steliten daneben eine Einrichtung auf, welche die andere Hälfte der letzteren auf 12° C. erhielt. Als die Erreichung der genannten Temperaturen anzunehmen war, wurden alle dem gleichen, sehr schwachen Lichte ausgesetzt und da ergab sich in der warmen Kaninchennetzhaut schon nach 10—15 Sec. ein starker Umschlag in Gelb, während die andere noch purpurn, nicht einmal roth war, nach 30 Sec. ein Unterschied von Roth zu hellstem Gelb, nach 45—60 Sec. vollkommenes Erbleichen im erwärmten Präparate, wo das kältere erst aus Orange in Gelb überging, das da erst in 4—5 Min. ganz verschwand. Die Froschnetzhäute veränderten sich bei dem schwachen Lichte überhaupt erst in 2 Min. zu Gelb und zeigten untereinander verglichen, kaum merkbare Differenzen. An feuchten Alaunpräparaten ergab dasselbe Verfahren ähnliche Unterschiede, von denen an ebenfalls alaunisirten Froschnetzhäuten wiederum nichts zu finden war. Die erwärmte Kaninchennetzhaut schlug hier fast augenblicklich in Gelb um, während die andere mehr als $^1/_2$ Min. brauchte, um nur orangeroth, mehr als 1 Min., um gelb zu werden. Das Gelb schwand an dem verwendeten Lichte übrigens in beiden Netzhäuten nicht vollständig.

Digitized by Google

Dies Verhalten macht es mehr als wahrscheinlich, dass der Sehpurpur nicht bei allen Thieren der nämliche chemische Körper sei. Entscheidung darüber ist von Erwärmungsversuchen an Purpurlösungen verschiedener Quellen zu erwarten. Wie es verschiedene Hämoglobine giebt, so liegt in der Vermuthung für den Sehpurpur nichts Ungereimtes, um so weniger, als man ohne die Annahme schwer versteht, weshalb die Netzhautfarbe mancher Thiere selbst bei mittlerer Sättigung so viel mehr zum Violet neigt, als bei anderen. Gegentheiligen Angaben gegenüber müssen wir von neuem hervorheben, dass sich namentlich der menschliche Purpur darin auszeichnet, den wir in richtigen Dunkelaugen wenn auch gelegentlich weniger intensiv, als beim Kaninchen, nach lichtsicherer Präparation aber im ersten Anblick viel violetter, als bei jenem, gesehen haben.

Unter den Gründen der schnelleren Ausbleichung beim Kaninchen, der langsameren beim Frosche ist noch der Pupillenweite zu gedenken, denn alle neueren Versuche am Kaninchen beziehen sich auf atropinisirte Augen, während das Mittel beim Frosche bis jetzt selten Verwendung fand. Es wird über den Einfluss des Giftes am Froschauge noch manches experimentell festzustellen sein, um die optographische Methode da von Unsicherheiten zu befreien, welche bei Differenzen der Pupillenweite von 1 mm. — 3 mm., die wir an gleichmässig belichteten Fröschen sahen, nicht fehlen können, aber man darf nicht glauben, dass die am Auge lebender Frösche und Kaninchen constatirten colossalen Bleichungsunterschiede auf die Pupillendifferenzen zurückzuführen seien, da das Kaninchenauge mit engster Pupille dem weitesten Froschauge immer noch ausserordentlich überlegen ist und ein halbirtes Froschauge, das so offen ist, wie eine Schaale, noch relative Indolenz des Sehpurpurs zeigt. Vergleichungen der beiderlei Augen sind ohnehin unzulässig, weil das Bild darin bei gleicher Pupillenöffnung von sehr verschiedener Grösse und das

Digitized by Google

Licht in Folge davon auf den Netzhautelementen von entsprechend verschiedener Intensität ist.

Am Kaninchen haben wir den Einfluss der Pupillenweite besonders festzustellen gesucht, indem wir in jedem Auge ein Bild erzeugten und nur beim zweiten Atropin wirken liessen, oder indem wir beide Augen atropinisirten und einen Versuch hinter einem dicht vor der Cornea befestigten Diaphragma von 4 mm. Durchmesser, das die Wirkung einer sehr engen Pupille hatte, den andern ohne dasselbe ausführten. Unter dem optographischen Objecte fanden wir den Durchmesser der Kaninchenpupille meist = 4—4,5 mm., nach dem Atropin = 7,5—8 mm. und die erforderlichen Expositionszeiten diesen grossen Unterschieden entsprechend veränderlich. Gefunden wurde z. B. Folgendes: Das erste Auge war vor dem Atropin 6 Min., das zweite nach der Giftwirkung 3 Min. exponirt: 1 zeigte gar kein Bild, 2 ein überexponirtes; oder es waren beide Augen atropinisirt, das erste 7 Min., das zweite hinter der künstlichen Pupille 10 Min. exponirt: 1 hatte ein stark überexponirtes Bild, 2 eins, das für vollkommen gelten konnte. Andere Versuche zeigten, dass mit der hier überall verwendeten optographischen Einrichtung auch im besten Lichte mit dem engen Diaphragma oder ohne Atropin in weniger als 5—6 Min. anhaltender Exposition kein Bild zu erzielen war. Wenn es dem Einen von uns früher gelang die ersten Lebensoptogramme am nicht atropinisirten Auge in 3—5 Min. zu erhalten, so lag dies an dem damals benutzten viel intensiveren Lichte, das nicht durch mattes Glas, welches später ohne Ausnahme die Fläche des Objectes bildete, gedämpft worden.

Hiermit schliessen wir die Mittheilung der ersten ausgedehnteren Erfahrungen über Aenderungen der Retinafarbe durch weisses Tageslicht ab, in der Meinung, dass die Fortsetzung der Versuche erst Erfolge verspricht, wenn man die Intensität des

Digitized by Google

Lichtes beherrschen und bestimmen kann. Eher dürften manche Fragen, die bis jetzt unberührt bleiben mussten, wie z. B. die von der photochemischen Induction, nicht in lohnender Weise in Angriff zu nehmen sein.

Vom Einflusse des farbigen Lichtes auf den Sehpurpur des lebenden Auges.

Am Schlusse des ersten Capitels wurde kurz erwähnt, dass die Belichtung des lebenden Froschauges mit monochromatischem Lichte des Spectrums Veränderungen erzeugte, welche identisch mit den von uns an der isolirten Netzhaut auf gleiche Weise erhaltenen waren. Da diese unsere Angabe, die wir nach sehr zahlreichen weiteren Versuchen im ganzen Umfange, mit grösster Bestimmtheit vertreten, in ausgeprägtem Widerspruche zu den Angaben *Boll*'s über denselben Gegenstand steht, sind wir genöthigt genauer darauf einzugehen.

Wir fanden nur ein Mittel, um die Ausbleichung intra vitam durch spectrales Licht, das naturgemäss nur von geringer Intensität sein kann, zu erzielen, indem wir mit oder ohne eingeschaltete zweite Linse den Schnittpunkt der Strahlen so nahe vor das Auge des fixirten Frosches fallen liessen, dass die Strahlen im Auge parallel wurden oder etwas divergent die Retina erreichten. Um vor dem Uebergreifen benachbarter Strahlen sicher zu sein, wurde der Frosch hinter einen besonderen Spalt gerückt, der nur die gewählte Farbe durchliess. Jede andere Art spectraler Belichtung, indem man den Frosch z. B. ohne Umstände an irgend welcher Stelle eines sehr grossen Spectrums befestigte oder auf eine Fläche legte, die vom Bildspalte ein breites Büschel divergenten einfarbigen Lichtes erhielt, verfehlte den Zweck: die Intensität reichte dann auch im wirksamsten Gelbgrün nicht hin.

Unser Verfahren erzeugte auf der Netzhaut ein Optogramm, und wie dieses beim Frosche zu erhalten sei, welche Schwierigkeiten dazu zu überwinden waren, wurde bereits in einer be-

Digitized by Google

sonderen Abhandlung (Heft 3. S. 225) erörtert; was dort für diffuses Tageslicht angegeben worden, galt in gleichem Maasse für die Bilder farbiger Objecte: es musste auch hier die Exposition lange dauern und es musste in allen Fällen für die Ablösung der Netzhaut von dem festhaftenden Epithel durch Anwendung des Curareödems gesorgt werden; nach rother Belichtung war das Mittel nicht einmal ausreichend, obwohl wir diese mit dem Spectrum zu Veränderungen der Netzhautfarbe niemals intensiv genug erhielten. In diesem Falle mussten die ödematösen Frösche sogar in einem Bade von etwa 35° C. gehalten werden, um die Retina aus dem Auge rein herausnehmen zu können.

Der Widerspruch unserer Befunde zu denen *Boll*'s liegt in 2 Punkten. *Boll* giebt an, er habe durch das mit einem *Merz*schen Prisma aus schwerem Flintglas (das wir auch verwendeten) erzeugte Spectrum dieselben Resultate, wie mit farbigen Gläsern erhalten, also abgesehen von eigenthümlichen, neu aufgetretenen Nuancen, die noch zur Erörterung kommen, auch dieselben zeitlichen Differenzen in der Wirkung der Einzelfarben. Mit blauen Kobaltgläsern wurde ganz so, wie es der Eine von uns für reines blaues Licht, welches durch Kupferoxydammoniak gegangen war, gefunden hatte, die schnellste Ausbleichung erzielt; wir fanden aber beim spectralen Blau das umgekehrte Verhalten und zwar nicht nur an der isolirten Netzhaut, sondern auch an der intra vitam belichteten, wenn wir die Wirkung mit der des Grün und Gelbgrün verglichen. Da blaue Kobaltgläser ausserordentlich viel Roth durchlassen, haben wir nicht versäumt mit Spectralfarben zu untersuchen, ob die Beimengung dieses Roth die Wirkung des Blau unterstützen könne, aber es wurde keine Andeutung davon gefunden und da Kupferoxydammoniak, ausser dem Blau, das Violet wenig absorbirt, wurden auch Versuche mit Mischungen aus spectralem Blau und Violet angestellt, die ebenso wenig Verstärkung der Wirkung

Digitized by Google

oder keine andere, als die in der Intensitätzunahme begründete, ergaben. Somit bleibt für die zwischen beiden Methoden bestehende Differenz keine andere Deutung, als die an sich einleuchtende übrig, dass das blaue Spectrallicht beträchtlich weniger intensiv ausfällt, als das durch Absorptionsmittel zu erzielende, und dass grünes oder gelbgrünes, durch Absorption erhaltenes Licht, wenn es einigermaassen rein ist, dem ebenso erhaltenen blauen an objectiver Intensität nachsteht. Im Brechungsspectrum ist dies umgekehrt und im Interferenzspectrum auch noch in dem Maasse der Fall, dass das Blau bezüglich seiner Wirkung auf Sehpurpur unter allen Umständen dem Grün und Gelbgrün nachsteht [1]).

Der zweite Punkt, wo unverträgliche Resultate zu reimen sind, liegt in der angeblichen specifischen Aenderung der Retinafarbe. Allerdings sind die ersten Aussagen darüber (Monatsber. d. Berl. Acad. Jan. 1877), welche allgemein den Glauben erregten und erregen sollten, dass der Sehpurpur nichts Geringeres als die Lösung des sog. Problems farbiger Photographieen und des uralten Räthsels von den Qualitäten der Empfindung verspreche, allmählich stark und so weit abgeschwächt, dass es dem Einzelnen überlassen bleibt zu entscheiden, wie viel oder wie wenig sich von den ersten Träumen verwirklicht habe; wir glauben aber gerade desshalb keiner Zweideutigkeit mehr Raum lassen zu dürfen und stellen darum gleich das Resultat unserer Erfahrungen an die Spitze der Darstellung. Es lautet:

[1]) Im soeben exstirpirten Kaninchenauge wurde das gelbgrüne und grüne Spectrallicht dem blauen ebenfalls überlegen gefunden. Das albinotische Auge war im Dunkelzimmer hinter dem Fernrohrocular eines gewöhnlichen Spectralapparates so befestigt, dass man ein gutes kleines Bild des vom directen Sonnenlichte erzeugten Spectrums durch die Sklera scheinen sah. Auf dieser wurden mit Tinte, so gut es ging, die Grenzen der Farben bezeichnet, um sich nachher im Optogramm orientiren zu können. Wir fanden nach Exposition von 6—8 Minuten eine Ausbleichung, welche erst hinter dem Gelb begann und vor dem Blau endete.

Digitized by Google

1. In der isolirten, wie in der lebenden Netzhaut giebt es nur **ein farbiges** Zersetzungsprodukt des Sehpurpurs, das Sehgelb und das Verhältniss des Sehgelb zum Purpur bedingt die Nuancen der Retinafarbe nach der Einwirkung des Lichtes.

2. Wo das Sehgelb so schnell oder schneller zersetzt wird, als der Sehpurpur, wird die Netzhaut rosa oder lila; wo das Umgekehrte stattfindet, roth, orange, chamois oder gelb.

Boll beschreibt und bildet ab 3 Farben der Netzhaut, die rein rothe, als der Dunkelretina zukommend, die purpurne, von tiefem Purpur bis Lila, als durch Wirkung der rothen, grünen und blauen oder violetten Strahlen, die orange bis gelbe, durch gelbes bis gelbgrünes Licht entstanden. Alle diese Farben können aus Sehpurpur und Sehgelb unter passender Verdünnung durch Mischung hergestellt werden, und unsere Beobachtungen über die wirkliche Aenderung, welche Licht verschiedener Wellenlängen erzeugt, würden als thatsächliche Grundlage der obigen Sätze vollkommen mit *Boll*'s Angaben vereinbar sein, wenn nicht gegen deren Beziehung zu den Belichtungsfarben und gegen die Bezeichnung der Dunkelfarbe oder Grundfarbe Widerspruch zu erheben wäre.

Hinsichtlich der Dunkelfarbe müssen wir auf Cap. I und II verweisen und hier vorausschicken, dass die folgenden Thatsachen grade so unverständlich bleiben würden, wie die von uns über die Aenderungen der isolirten Retina gefundenen, wenn man sich nicht überzeugen kann, dass die Retina vor aller Lichtwirkung purpurn ist.

Wir beginnen mit der Frage nach der Wirkung des rothen Lichtes. Rothes Licht, das kein brechbareres, über die Linie C hin vorkommendes enthält, bleicht den Purpur bei bedeutender Intensität langsam, aber zweifellos und vollkommen, im Leben

Digitized by Google

wie postmortal. Es wird aber behauptet, dass es (geringere Intensität vorausgesetzt) auch das Entgegengesetzte thue, dass es die Netzhautfarbe, wenigstens intra vitam, verstärke oder vertiefe, und dass es die normale Grundfarbe, die von der ungeheuren Mehrzahl der Ophthalmologen für Roth gehalten und ohne Zweideutigkeit ausdrücklich dafür erklärt wird, so dass Niemand von Denen, welche sich der Bezeichnung bedienen, sagen kann, er habe die Purpurfarbe nicht geläugnet, in Purpur oder in Braun umwandle. Das Braun betreffend, würden wir jedes Wort für überflüssig halten, wenn nicht *Boll* sehr bestimmt angäbe, dass es nicht nur an der gesammten Netzhaut, sondern auch an den einzelnen, durch die Längsaxe gesehenen Stäbchen ohne Zuthun des in die Stäbchenschichten reichenden epithelialen Pigmentes deutlich erkennbar sei und wenn nicht *Donders* (Klin. Monatsbl. f. Augenheilk. Beilageheft. XV. Jahrg. S. 155) die Farbe der menschlichen (Dunkel-) Netzhaut damit charakterisirt hätte, dass sie mehr bräunlich sei. Da wir nicht annehmen dürfen, dass *Donders*, der die Netzhaut auch für roth, nicht für purpurn hält, das Haften braunen oder schwarzen Epithelpigmentes, das an jeder Thiernetzhaut vorkommen kann, bei dieser Gelegenheit für erwähnenswerth gehalten habe, bleiben Bestätigungen seiner Angabe für den Menschen abzuwarten; wir haben bisher in keinem menschlichen Auge etwas ihr entsprechendes gesehen und nehmen fast Anstand zu sagen, dass uns einzelne menschliche Retinae vorgekommen sind, die da bräunlich waren, wo das Mikroskop zwischen den Stäbchen Pigmentkörnchen zeigte. Die braune Nuance an anderen, davon freien Präparaten zu sehen, hatten wir keine Gelegenheit.

In nicht zu intensivem rothen Lichte gehaltene Frösche liefern ausserordentlich dunkle Netzhäute, aber es liegt dies daran, dass ihr Purpur unverändert ist, während sehr viel schwarzes Pigment auf den Stäbchen liegt oder zwischen ihnen

Digitized by Google

steckt. Das Epithel haftet hier noch fester an der Stäbchenschichte wie nach dem Aufenthalte im gemeinen Lichte, und lässt das Pigment namentlich so massenhaft bis zum Beginn der Innenglieder vortreten, dass die Combination des Curareödems mit Erhöhung der Lebenstemperatur, wie schon erwähnt, nöthig wird um die Retina rein abziehen zu können. Ist dies geschehen, so ist eine solche Retina von einer dunkel gehaltenen nicht zu unterscheiden. Da gegen die Art der Lockerung einige Bedenken zu erheben sind, schon weil das Oedem, in der höchsten Entwicklung wenigstens, bei Dunkelfröschen merkliches Ablassen der Retina erzeugt, so haben wir die Färbung ohne das Mittel untersucht, indem wir wenigstens stellenweise das Epithel von den Stäbchen abschabten, was in ausreichendem Maasse gelang. Dann sahen sie, von hinten und in senkrechter Stellung gesehen, genau so aus, wie bei Dunkelfröschen, prächtig purpurn und ohne jede Spuren von Braun. Nur wo das Präparat nicht gut erhalten, die Stäbchen verbogen oder unordentlich lagen, so dass keine reine Ansicht zu gewinnen war, konnte man auf den Gedanken kommen, sie für bräunlich zu halten; man muss aber nicht vergessen, wie viel Pigment auch an den abgeschabten Stellen in der Tiefe zwischen den Stäbchen zurückbleibt, nachdem die Epithelzellen mit Verlust ihrer Fortsätze entfernt worden. Ueber die Frage, ob etwas Braunes oder Schwarzes in den Stäbchen durch rothe Belichtung entstehe, dürfte hiernach entschieden sein; das Object reicht dazu vollkommen aus und antwortet: „Nein.“ — Anders lag die weitere Frage, ob die Netzhautfarbe durch Rothbelichtung sich vertiefe, indem die Stäbchen purpurreicher werden. Wir können nicht darüber verhandeln, ob die Behauptung, dass rothes Licht sogenanntes Sehroth in Sehpurpur wandle, richtig sei oder nicht, und geben derselben die eben gewählte Form, in der sie Sinn hat, denn wir haben vollkommen Musse die Vertreter der Ansicht, dass die Farbe der Dunkelretina nicht purpurn sei, zu

Digitized by Google

besserer Einsicht gelangen zu sehen und denken nicht pessimistisch genug, um für den Fortschritt der Optochemie zu fürchten, wenn es lange dauert. Es handelt sich also nur darum, ob das rothe Licht mittlerer oder schwacher Intensität die Entstehung des Purpurs beeinflusse oder die Rhodogenese begünstige, vielleicht noch mehr, als es die Dunkelheit thut. In diesem Punkte waren Verschiedenheiten des Verhaltens zwischen der isolirten Retina und der im Leben beeinflussten, richtiger gesagt der epithelfreien und der epithelführenden Netzhaut, denkbar.

Bei den Fröschen wechselt der Purpurgehalt der Stäbchen von einem Individuum zum andern zu sehr, als dass wir hoffen konnten, auf dem bisherigen Wege der Vergleichung am Dunkelfrosche und an den Rothfröschen Sicheres zu erreichen, und welche Mühe es machte, die Beobachtung an den beiden Augen desselben Thieres durchzuführen, wussten wir von unseren Versuchen über einseitige Ausbleichung, die uns keine geringe Meinung von dem Geschicke des Frosches sich von einem lästigen Verbande zu befreien, hinterlassen hatten. Einige Vorversuche an Curarefröschen, deren eines Auge zum Himmel gegen rothes Glas gerichtet worden, während das andere mit etwas Dunklem zugedrückt worden, ergaben nichts in Bezug auf die gesuchte Differenz. So blieb wieder nur die optographische Methode übrig. Das Object bestand in dem mehrerwähnten matten Glasverschlusse unseres Lichttrichters, der jetzt zur einen Hälfte mit einer schwarzen, zur anderen mit einer rothen Tafel bedeckt wurde, nachdem die früher benutzten schwarzen Streifen fortgenommen waren. Um ohne Umstände zu erfahren, welche Hälfte der Retina die belichtete gewesen, und ob die andere durch richtiges Unterlegen des Frosches dem Lichte wirklich entzogen worden, wurde die schwarze Hälfte des Objectes unweit der rothen Grenze mit einem Ausschnitte vor 5 □Ctm. versehen, den wir wegen der

Digitized by Google

in Aussicht zu nehmenden langen Exposition zuweilen mit mehreren Stücken farblosen matten Glases bedeckten. Der Erfolg fiel schlecht genug aus, insofern die Netzhaut, je nach der Witterung 30—120 Min. exponirt, vorwiegend auf einer Seite von schwarzem Epithel bedeckt zum Vorschein kam, so dass ihre beiden Hälften erst nach dem Abschaben einer Stelle zu vergleichen waren. Nach Expositionen von 30—40 Min. war von Differenzen nichts zu bemerken, das kleine Optogramm des Ausschnittes gut zu sehen. War viel länger exponirt, so war das letztere oft diffus und zu gross, und das Epithel haftete auch auf seiner Seite in grösserer Ausdehnung. Bis hierher war zwar Curare, kein Oedem verwendet, wir sahen aber, dass auch dieses nicht genügte, als wir es hinzunahmen, und mussten, um reine, epithellose Netzhäute zu bekommen, noch zur Erwärmung greifen, indem wir die Frösche unter der Oberfläche eines sehr grossen Wasserbades von 30—35° C. so befestigten, dass hauptsächlich das Auge über dessen Niveau herausragte. So wurden nach der Einwirkung guten Tageslichtes in 30—45 Min. einige ziemlich scharfe, kleine Optogramme des quadratischen Objectes erhalten, aber auf ganz gleichmässigem, zu beiden Seiten hellpurpurnem oder rosafarbenem Grunde. Wo das Optogramm diffus geworden, war seine nächste Umgebung mehr orange oder chamois und in diesen Nuancen nicht verschieden, wo der Hof über die dem Objecte entsprechende Grenze von Roth und Schwarz hinüberreichen musste. Wir haben nach manchen derartigen Versuchen die Ueberzeugung gewonnen, dass das Curareödem mit der Erwärmung combinirt zu Irrthümern führen kann und dass unser aus früheren Erfahrungen (s. oben) dagegen gefasstes Misstrauen gerechtfertigt war, denn wir fanden die Retina hier oft so blass, dass überhaupt keine Entscheidung irgend welcher Art getroffen werden konnte.

Da mit dem Frosche nicht zum Ziele zu kommen war,

Digitized by Google

gingen wir zu Versuchen am Kaninchen, wo die Sache zugleich grösseres Interesse bot, über. Die eine Hälfte des optographischen Objectes wurde senkrecht zur Richtung seiner Streifen mit rothem Glase bedeckt, das Kaninchen, wie früher angegeben, mit dem Corneascheitel unter den Mittelpunkt des gesammten Objects gerückt, jetzt aber so, dass das Bild der Streifen mit der Sehleiste parallel auf die Netzhaut fiel. Wie das Experiment auch modificirt werden mochte, haben wir ohne Ueberexposition die rothbelichtete Netzhauthälfte niemals mit Streifen tieferen und helleren Purpurs durchzogen gefunden und keinen Unterschied in der Purpurfarbe in der in die bildfreie Netzhauthälfte hinübergedachten Verlängerung der Optogrammstreifen zu entdecken vermocht, wie es hätte der Fall sein müssen, wenn das rothe Licht den Purpur verstärkte. War überexponirt und das Licht intensiv genug gewesen, so hatte auch das Roth etwas zersetzend gewirkt und man sah deutlich, dass die Streifen des schwächeren Bildes, welche weniger purpurn, mehr rein roth oder orange waren, nicht den schwarzen des Objectes, sondern den lichtgebenden rothen entsprachen, denn sie bildeten im Optogramm die Fortsetzung von den breiten weissen Streifen der schwarzweissen Objecthälfte.

Um das rothe Licht möglichst lange ohne daneben stehendes weisses, dessen Wirkung nach längerer Exposition diffus über das dem ersteren bestimmte Netzhautareal fallen musste, ins Auge gelangen zu lassen, wurde dasselbe einfach mitten unter die zur Hälfte schwarz und roth gedeckte Lichtöffnung gestellt und je nach der Beschaffenheit des Tageslichtes verschieden lange, in einem Falle eine Stunde exponirt. Die mittlere Grenze fiel jetzt senkrecht zur Sehleiste auf den Augengrund. Indem wir die alaunisirte Retina, wie immer nach dem Ausbohren der Papille, glatt über ein winziges Porzellanschälchen, mit der Rückfläche nach oben, ausbreiteten, war durch die Lage des Papillen-

Digitized by Google

loches und des davon abgehenden Streifens der markhaltigen Nerven über dem Horizonte ohne Umstände zu bestimmen, welche Netzhauthälfte die nasenwärts und welche die ohrenwärts gelegene sei. Nach diesen Versuchen besonders haben wir keinen Zweifel mehr, dass das rothe Licht, wenn es überhaupt wirkt, niemals andere Veränderungen der Netzhautfarbe erzeugt, als das weniger brechbare Licht im Allgemeinen, d. h. den Purpur in Sehgelb verwandelt, und rothe bis orange und gelbe Nuancen hervorbringt, welche sehr langsam zum gänzlichen Verluste der Farbe führen. Wo überhaupt Farbendifferenzen auf den beiden Netzhautseiten bestanden, die wir von ganz unbefangenen Personen constatiren liessen, ergab die Orientirung auf der Fläche immer, dass es die dunkel gehaltene, der ungleichnamigen schwarzen Seite des Objectes entsprechende Hälfte war, deren Purpur am wenigsten zum Roth neigte. Zu der ganzen Versuchsreihe mag noch des Motivs gedacht werden, das die Benutzung des Kaninchenauges anrieth und das im wesentlichen in dem Vortheile bestand, den das Alaunverfahren hier wieder gewährte, nämlich unter allen Umständen gänzlich epithelfreie Netzhäute zu liefern, die vom Frosche ohne eingreifende Aenderungen intra vitam nicht zu bekommen waren.

Der Gedanke, dass an der *Boll*'schen Angabe über Verstärkung der Netzhautfarbe durch rothes Licht etwas richtiges sein könne, wurzelte in der schon erwähnten Betrachtung, dass die Rhodogenese oder die Regeneration durch dieses Licht begünstigt werde, weil diese Processe, besonders der letztere, so lange erheblich wirksamer sind, als noch Reste von Purpur in den Stäbchen stecken und neben etwas violettem Licht, nach der Bildung von Sehgelb ohne dieses sogar, nur dem rothen Zugang zum Epithel gestatten. Desshalb sind wir bei dem bisher Erledigten nicht stehen geblieben, sondern haben noch einige Versuche über Regeneration im rothen Lichte angestellt. Wenn irgend

Digitized by Google

etwas richtiges an der Hypothese war, so musste die Regeneration oder die Rhodogenese an den helleren Stellen eines Optogrammes schneller erfolgen in mässigem rothen Lichte, als in der Dunkelheit. Dies war möglich trotz der vorliegenden Thatsachen, weil gänzlicher Lichtmangel möglicherweise immer ein nicht mehr zu überschreitendes Maximum an Purpur für die Stäbchen schafft, während sehr gedämpftes rothes Licht die Erreichung desselben vielleicht beschleunigte.

Es wurde ein Optogramm durch Exposition von 3 Min. erzeugt, und gleich darauf an Stelle der schwarz-weiss gestreiften Objecttafel die rothe und schwarze gelegt, worunter das Kaninchen noch 30 Min. verweilte. Die Regeneration wurde hierauf sehr merklich gefunden, insofern die hellen Streifen des Bildes nicht mehr weiss, wie sie es nach der Lichtstärke gewesen sein mussten, sondern rosa waren. Zwischen den beiden Hälften des Bildes fand sich keine grosse Differenz. Ein anderes Optogramm, in derselben Expositionszeit bei noch besserem Lichte entstanden und 40 Min. intra vitam unter Roth und Schwarz gelassen, bestand noch vollkommen kenntlich auf der Netzhaut, aber die Differenz seiner beiden Hälften war so gross, wie die der beiden Netzhauthälften überhaupt, indem die eine rein roth bis orangeroth, die andere prächtig purpurn war. Die erstere Hälfte entsprach der im rothen Lichte regenerirten, und hier war das Optogramm unzweifelhaft deutlicher, die Farbe der hellen Streifen viel heller und mehr chamois, als auf der andern Seite, jenseits der Farbengrenze der ganzen Fläche, wo sie gut rosa war, während die dunklen Bildstreifen im Gegensatze zu denen der gegenüberliegenden Seite brandroth aussahen.

Es geht aus dieser letzten Versuchsreihe hervor, dass man dem rothen Lichte auch nicht die Bedeutung eines Reizes für die Regeneration oder für die Rhodogenese, wohl aber die wichtige negative Eigenschaft zuschreiben darf, diese Processe

Digitized by Google

nur sehr unwesentlich zu hindern. Unter geringeren Intensitäten, als den zu unsern Versuchen nöthigen, meinen wir daher wohl Zustände annehmen zu können, wo die Regeneration darin nicht schlechter verläuft, als in absoluter Dunkelheit, und dies wird der Grund sein, weshalb bei recht schwachem weissem Lichte, von dem nur die rothen und die ausserordentlich wenig intensiven violetten Strahlen durch die Stäbchen zum Epithel gelangen, die Retinafarbe grade so gut bleibt, wie im Dunkeln. Man braucht nur an das Sehen der Eule in der Dämmerung zu denken, um sich vorzustellen, wie gut da in den langen Stäbchen bei andauerndem Gebrauche das Gleichgewicht zwischen Purpurzersetzung und Wiederbildung erhalten bleiben kann.

Ueber die Wirkung der übrigen Farben haben wir unserer kurzen Bemerkung (Heft 2, S. 101) wenig hinzuzufügen: wir fanden dasselbe, was an der isolirten Netzhaut beobachtet wird, dass sie um so mehr das Sehgelb neben oder vor dem noch vorhandenen Purpur ausbleichen, je brechbarer sie sind. Rothe, orange, gelb oder chamois aussehende Netzhäute werden deshalb im Leben unter gefärbten Gläsern oder Lösungen am leichtesten hervorgebracht durch gelbes, gelbgrünes und grünes Licht, aber die Erscheinung ist intra vitam niemals von der Deutlichkeit, wie an isolirten Netzhäuten, weil dem Sehgelb so lange durch den Regenerator immer wieder Purpur zugemischt wird, als noch etwas Farbiges in den Stäbchen übrig geblieben ist. Man würde darum von der lebend belichteten Netzhaut noch weniger, als von der isolirt und epithellos verwendeten nach dem Aussehen sagen können, welchem Lichte sie ausgesetzt war, oder wenn man es thäte, nichts anderes sagen, als was man von jeder für alle Farben bis zum Roth sensibilisirten photographischen Platte sagen kann, wo man behaupten würde, hier war blau, dort grün belichtet, wenn man die Expositionszeit kennt oder erschliessen kann, worin Niemand eine Annäherung an die Herstellung sog.

Digitized by Google

farbiger Photographieen erblicken wird. Bei der Netzhaut sind aber solche Aussprüche nach intra vitam geschehenen Veränderungen auch in der unschuldigeren Form eines Resumé's besonders unzulässig, weil man z. B. ein helles Lila finden kann, das Der, den man beim Worte nimmt, durch blaues oder violettes Licht entstanden erklären muss, während die Retina eben so gut von einem sehr intensiv roth belichteten Frosche stammen kann, der nach totaler Bleichung $^1/_2$ Stunde im Dunkeln zubrachte und die ersten Spuren von Purpur wieder ansetzte.

Wie rothes Licht keine braune Nuance des Sehpurpurs erzeugt, so bringt andersfarbiges auch keine grauen oder schmutzigen Töne hervor. Wohl kann die ganze Netzhaut graugelb oder grauviolet werden, aber es ist dies immer die Folge zwischen die Stäbchen gelagerten Pigmentes, nie eine den Stäbchen oder deren Purpurresten selbst zukommende Nuance. Unten wird gezeigt werden, wie man sich darüber Sicherheit verschafft.

Beim Frosche wären Aenderungen der Gesammtfarbe der Retina durch farbiges Licht denkbar, ohne dass gerade der Purpur seine Nuance änderte, indem das Verhältniss oder die Vertheilung der grünen Stäbchen andere würden. Wie wir sehen, sind die ersten Angaben über Vermehrung der grünen Stäbchen durch farbiges Licht wieder aufgegeben; wir können uns daher eingehenderer Mittheilungen über diese Gebilde, welche wir vorhatten, bei jetziger Gelegenheit enthalten. Nur das Eine sei erwähnt, dass es eine Art die Retina zu betrachten gibt, bei welcher von den grünen Stäbchen nichts zu sehen ist. Wird die Froschretina mit der Vorderseite gegen das Deckglas gelegt, vollkommen glatt ausgebreitet, ohne Druck untersucht, so erhält man das (Heft 3, S. 235) beschriebene zierliche Bild der aus den Stäbcheninnengliedern gebildeten Mosaik, nach etwas tieferer Einstellung das des Anfanges der Aussenglieder. In diesem

Digitized by Google

Muster sind keine anderen, als purpurne oder graue bis schwarze Setzstücke zu bemerken, niemals grüne, und wenn man das Object an geeignetem Lichte, das die grüne Farbe möglichst schont aber den Purpur entfärbt, besieht, so kommen nur ganz helle, farblose Stücke an Stelle der gewöhnlichen Stäbchen neben den erwähnten grauen und dunkleren, den Zapfen entsprechenden zum Vorschein. Wenn man dieses Bild vor oder nach der Bleichung aufmerksam durchmustert, findet man es nicht ausschliesslich aus den eckigen Stücken, die den Innengliedern der Stäbchen und Zapfen entsprechen, zusammengesetzt, sondern noch aus kleinen, glänzenden, kreisförmigen, deren Durchmesser nicht $^1/_4$ von dem der Stäbchen beträgt, und diese Stücke ersichtlich in der Weise und Anzahl zwischen die übrigen vertheilt, wie man die grünen Stäbchen beim Anblicke von der Epithelfläche zwischen die purpurnen gesetzt findet. Dasselbe Bild haben wir bis jetzt nur von der Retina der Kröte, welche auch grüne Stäbchen besitzt, erhalten, nicht von der des Erdsalamanders, die sie nicht enthält. Hiermit scheint uns über die von *Boll* aufgeworfene Frage, ob die grünen Stäbchen identisch mit den von *Schwalbe* entdeckten, auch von *W. Müller* (Beitr. z. Anat. u. Physiol. *C. Ludwig*, gew. Festgabe Hft. 2. Leipzig, 1875) beschriebenen eigenthümlichen Stäbchen mit kurzem Aussengliede, deren Innenglied in Gestalt eines langen Fadens nach vorn geht, identisch seien, entschieden und das Bild der kleinen Kreise, das jenem Faden entspricht, (vergl. *Schwalbe*, Handb. d. g. Augenheilk. v. *Gräfe* und *Sämisch*. I. S. 406) richtig gedeutet. Da *W. Müller* die genannte Stäbchenart bei Salamandra mac. nicht fand, so stimmt auch das Fehlen jener Kreise in der Salamandernetzhaut zu unserer Auffassung. Dass man an der Stelle der den Stäbchenfäden entsprechenden Kreise nichts von der grünen Farbe der Aussenglieder erkennt, zeigt, wie vollständig sich die Innenglieder der benachbarten Elemente um den Faden zusammendrängen.

Digitized by Google

Veränderungen der Stäbchen durch Licht.

Im Leben werden einige leicht bemerkbare Veränderungen an der Retina durch Belichtung erzeugt, welche nicht direkt den Purpur betreffen und z. Th. vielleicht überhaupt in keiner Beziehung zu dessen photochemischer Zersetzung stehen. Wir erwähnen ihrer, weil sie für die Chemie des Sehens vermuthlich bedeutungsvoll sind.

Es gibt eine sehr auffällige Veränderung an der Form der Stäbchen, welche sich kurz dahin zusammenfassen lässt, dass kräftige Belichtung von genügender Dauer sie verdickt, quellen macht, Dunkelheit sie wieder zum Schrumpfen bringt und im Querdurchmesser verkleinert.

Genauere Beobachtungen hierüber, welche Herr stud. med. *F. v. Hornbostel* aus Wien im hiesigen Laboratorium anstellte, ergaben Folgendes:

Nimmt man die Retina eines Dunkelfrosches aus dem Bulbus heraus und bringt sie so unter das Mikroskop, dass man die Aussenglieder der Stäbchen von oben sieht, so erscheinen diese bekanntlich als kreisförmige Scheiben, die nicht dichtgedrängt, sondern in geringen Abständen von einander liegen. Die Durchmesser der einzelnen Stäbchen sind nicht gleich gross, sie schwanken zwischen 0,006 bis 0,007 mm. Die Zwischenräume zwischen den einzelnen Stäbchen schwanken von 0,0005—0,0008 mm.; hie und da finden sich noch grössere Zwischenräume, welche den Stellen entsprechen, wo Zapfen in der Tiefe liegen. Es nehmen somit beim Dunkelfrosche Stäbchen und Zwischenräume den Platz von 0,0065—0,0078 mm. in Anspruch, und wenn das Präparat in einer der sehr kleinen feuchten Kammern, die wir anwenden, einigermaassen kühl gehalten liegen bleibt, so ändert sich darin nichts in der langen Zeit, die bis zum Zerfallen und dem Auftreten der bekannten cadaverösen, unregelmässigen Quellungsformen vergeht, gleichviel ob es von Anfang an dunkel ge-

Digitized by Google

halten und nur im Natronlichte gemessen worden, oder ob es dem blendendsten Lichte ausgesetzt wurde. Diese Angaben beziehen sich, wie die folgenden, ausschliesslich auf die Elemente des Centrum retinae.

Vergleicht man hiermit den Durchmesser der gänzlich geblichenen Stäbchen eines in der Sonne gehaltenen Frosches, an Stellen, wo die Pigmentzellen ohne tiefere störende Eingriffe in die Stäbchenschicht entfernt worden, so findet man die Zwischenräume in schmale Linien oder in dreieckige und andere sehr schmale Figuren verwandelt und den Durchmesser der Stäbchen, so weit die Genauigkeit der Messung reicht, gleich dem der Stäbchen plus dem der Zwischenräume in der Dunkelretina. Die Stäbchen sind also bis zur gegenseitigen Berührung angeschwollen, dicker geworden. Es braucht aber eine geraume Zeit der Lichtwirkung, bis die Quellung deutlich wird und die Veränderung der Durchmesser durch Zahlen ausgedrückt werden kann. Direkt nach grade vollendeter Ausbleichung des Sehpurpurs ist keine Veränderung wahrzunehmen, wie denn auch zu dieser Zeit das Haften des schwarzen Pigmentes noch wenig ausgebildet ist, wenn kein direktes Sonnenlicht verwendet wurde. Frösche, die eine halbe Stunde hellem diffusen Tageslichte bis zur Erreichung dieses Stadiums ausgesetzt waren, oder schwächer belichtete, deren Retinae noch chamois waren, zeigten Stäbchen, deren mittlere Dicke nur 0,0066 mm. oder wenig darüber betrug.

Entschiedene Quellung ist bereits nach $^3/_4$—1 Stunde, Sonnenlicht vorausgesetzt, bemerkbar. Die Zahlen schwankten zwischen 0,0068—0,0072 mm. Zunahme der Dicke proportional der Zeit der Belichtung liess sich nicht herausfinden, obwohl ein Unterschied zu bemerken ist zwischen den Stäbchendurchmessern eines Frosches, der eine Stunde, und eines, der 3 Stunden besonnt wurde. Nach längerer Besonnung von 8—9 Stunden an den besten Sommertagen war keine weitere Zunahme zu bemerken

Digitized by Google

und es wurden keine Stäbchen gefunden, deren Durchmesser den Werth von 8 Mikren annäherungsweise überschritten hätte. Nur in sehr vereinzelten Fällen oder nur an kleinen Plätzen der Retina sah man die Quellung den Grad erreichen, dass man sagen konnte, die Stäbchen seien abgeplattet, ihr Querschnitt eckig, statt kreisförmig; im Allgemeinen war das Bild da, wo die Zapfen keine Unterbrechung erzeugten, so, dass man sich die Mosaïk wie aus Reihen der Stäbchenenden zusammengesetzt vorstellen konnte, deren kreisförmige Bilder wie ganz eng auf die Schnur gezogene Perlen aussahen. So sieht die Dunkelretina niemals aus.

Wie die Stäbchen im Lichte aufquellen, quellen sie nach längerem Aufenthalte im Dunkeln wieder ab. Gründlich besonnte Frösche zeigten erst nach 1—1½stündigem Aufenthalte im Dunkeln, also etwa zur Zeit, wenn der Sehpurpur vollständig regenerirt war, nicht eher, wieder den kleinen Stäbchendurchmesser der Dunkelfrösche. Bemerkenswerther Weise erfolgt das Abquellen zwar nicht an der isolirten Retina, aber in dem isolirten Bulbus ebensogut, wie im lebenden Frosche, und man erhält darum zwei durch die Verschiedenheit der Stäbchendicke höchst überzeugende Präparate, wenn man das eine von dem soeben aus der Sonne genommenen Frosche anfertigt, das andere von dem zweiten Auge, nachdem es zwei Stunden im Dunkeln gelegen.

In der Netzhaut von Fröschen, welche lange unter rothem Lichte gehalten worden, war keine Zunahme des Stäbchenquerschnittes bemerkbar, wenn keine Bleichung eingetreten war.

Vom Verhalten des Pigmentepithels im Lichte.

In den engen Zwischenräumen der gequollenen Stäbchen lebend belichteter Netzhäute liegen meist reichlich feine Krystalle des schwarzen Epithelpigmentes, die besonders beim Zerdrücken des Präparates sichtbar werden, wenn das nach den Innengliedern und nach vorn hin sich erstreckende Pigment zu-

Digitized by Google

gänglich wird, das man an einem guten Präparate sonst nicht sehen kann, weil kein Licht von vorn zwischen die Stäbchen dringt. In Folge dieses Gehaltes an schwarzem Pigment erscheint natürlich die sonst farblose Membran grau und wenn die Stäbchen noch nicht völlig ausgebleicht sind, wird dieses Grau selbstverständlich mit dem Rest von Purpur oder von Sehgelb Mischfarben erzeugen. Darauf beruhen denn auch die sonderbaren Farben, welche *Boll* als den Stäbchen zukommend, nach Belichtung der Frösche mit verschiedenfarbigem Lichte abbildet, besonders das schmutzige Lila oder Violet. Wir haben unschwer entscheiden können, dass hier derselbe Irrthum obwaltet, welcher die Netzhaut von Rothfröschen für braun erklären liess, denn an ordentlich und glatt ausgebreiteten Präparaten sah man von diesen Schmutzfarben nichts, falls das Mikroskop zu Hülfe genommen und die Farbe der im Object senkrecht stehenden Stäbchen allein berücksichtigt wurde; blass purpurne Stäbchen waren da rein lila, obgleich die ganze Netzhaut, wenn man daraus ein Häufchen bildete, jene Schmutzfarbe sehr deutlich annahm. Zum Orange, Chamois oder Gelb in äusserst intensivem rothen oder gelben Lichte intra vitam veränderte Stäbchen boten unter diesen Bedingungen die genannten Farben immer sehr rein dar, während die ganze mit schwarzem Pigmente durchsetzte Netzhaut jede Nuance von Braun darstellen konnte. Damit ist jetzt das letzte Hinderniss der allgemeinen Gültigkeit unseres Satzes, dass die lebende Retina in situ keine anderen Farbenänderungen, als die am isolirten Sehpurpur festgestellten, einzugehen vermag, beseitigt.

Die Schwellung der Stäbchen durch Belichtung bildet offenbar ein günstiges Moment für das Zurückbleiben des schwarzen krystallinischen Pigmentes oder der protoplasmatischen Epithel-Fortsätze, welche es einschliessen, zwischen den Stäbchen. Werden die Epithelzellen an ihren sämmtlichen Fortsätzen so von der Stäbchenschicht, die sie einklemmt, festgehalten, so ist mit einiger

Digitized by Google

Sicherheit darauf zu rechnen, dass die von der Chorioïdea leicht im Zusammenhange abgehende Epithellage mit der Netzhaut ausschlüpft oder aus dem Bulbus zugleich hervorzuziehen ist. Es würde demnach das nach der Belichtung in normalen Verhältnissen beim Frosche constante festere Haften der beiden äussersten Retinablätter aneinander, das von Anfang an auffallen musste, von *Boll* jedoch, wie es scheint, eher als von uns hervorgehoben wurde, in einfachster Weise erklärt. Die Reihe der Erscheinungen, um welche es sich hier handelt, ist indess ausserordentlich verwickelt und daraus wohl begreiflich, dass jede weitere thatsächliche Beobachtung von einer Deutung auf die andere überspringen liess.

Die erste Deutung, welche der Eine von uns unter Erinnerung an die früheren Bemerkungen *Czerny's* über das pseudopodienartige Verhalten jener Fortsätze versuchte, dass die verschiedene Durchsetzung der Stäbchenschicht mit Pigment auf amoboïden Bewegungen der Fortsätze unter Umherwanderung und Abschichtung des Pigmentes beruhe, ist seitdem von *Boll* an Stelle seiner Meinung, dass es sich um Consistenzveränderungen handle, acceptirt worden, mit besonderer Betonung jener „Abschichtung". Es stimmte diese Annahme vortrefflich mit *Brücke's* Beobachtungen an den Pigmentzellen der Chamäleonhaut, wo Dunkelheit anscheinend zum Reize wird, so dass die Fortsätze eingezogen werden, Licht das Ausstrecken befördert, und in der Netzhaut brauchte man nur die Epithelfransen für die Haftfäden zu halten, um zu finden, dass Licht das Epithel an die Stäbchen befestigen, Dunkelheit es lockern müsse, weil sich die erst vorgeschobenen Fäden wieder auf den Zellenleib zurückziehen. Die Ansicht war vielleicht gut; aber wir wollen die Thatsachen reden lassen.

Eingehendere Beobachtungen wurden bis jetzt nur an Fröschen angestellt, weil an Säugethieren und Vögeln die auffälligeren Unterschiede des Haftens und Loslassens der Epithelschicht nicht

Digitized by Google

zu bemerken waren. Am menschlichen, in Eis conservirten Dunkelauge gelang die Trennung vom Epithel meist leicht, am Kaninchenauge im frischen Zustande häufig sehr schlecht, am Dunkelauge eines Affen durchaus nicht, bei der Taube mehr oder minder vollkommen, sowohl bei hell, wie bei dunkel gehaltenen Exemplaren. Unter Anwendung der Alaunmethode haben wir beim Kaninchen das Haften des Pigments an den belichteten Netzhautstellen, während unserer jetzt sehr ausgedehnten Erfahrungen, nur beobachtet, wenn die Augen nicht vollkommen lebensfrisch in das Härtungsmittel gelegt waren. Beim Frosche erzeugt dagegen jede Belichtung, und auffälliger Weise ganz besonders die rothe, auch wenn sie lange nicht intensiv genug ist um irgend welche Veränderung an der Netzhautfarbe aufkommen zu lassen, das festeste Haften. Da hier keine Schwellung der Stäbchen erzeugt wird, (vergl. oben), so sieht man, dass in dieser nicht die ausschliessliche Ursache liegen kann.

Weitere Verwicklungen ergeben sich, wenn man nur auf die Erscheinung des Haftens Rücksicht nimmt, aus den übrigen Bedingungen, welche ausser Licht und Dunkelheit in demselben Sinne oder umgekehrt wirken wie diese. Dieselben wurden schon bei der optographischen Technik, wo ihre Kenntniss unumgänglich ist und bei anderen Gelegenheiten erwähnt: niedere Temperaturen wirken wie Licht, höhere befördern die Dehiscenz auch gegen die Wirkung des Lichtes; in gleichem Sinne wirkt das Curareödem, am mächtigsten in Vereinigung mit Temperaturen von 28°—30° C. Bezüglich des Einflusses der Temperatur von 0° müssen wir nach sehr umfangreichen Erfahrungen hervorheben, dass das Mittel nicht ganz constant anschlägt, nach längerem Kühlhalten der Frösche weniger sicher ist, als in der ersten Stunde. Mit grösster Sicherheit die Dehiscenz am Dunkelauge aufhebend, wirkt das einfache Liegenlassen des exstirpirten Bulbus bis zur ersten gut bemerklichen Abnahme seiner Spannung, also zu einer

Digitized by Google

Zeit (nach $^1/_2$—1 Std.) und unter Umständen, wo Absterben der Elementarorganismen kaum anzunehmen ist.

Um besseren Einblick in das Verhalten der Epithelschicht zu den Stäbchen zu gewinnen, haben wir die unter den angegebenen wirksamen Einflüssen gehaltenen Augen genauer mikroskopisch untersucht. Dieselben wurden dazu angeschnitten in *Müller*'scher Flüssigkeit längere Zeit gehärtet, darauf in Alkohol gelegt und aus diesem in die von Dr. *Kuhnt* im hiesigen Laboratorium verwendete Einbettungsmischung aus Gummi, Glycerin und Eiweiss gebracht, welche ebenfalls mit Alkohol erhärtet wurde. Der Gebrauch der *Müller*'schen Flüssigkeit war unumgänglich und musste der Alkoholhärtung voraufgehen, weil Alkohol, direkt auf frische Augengründe angewendet, eine schon mit blossem Auge ersichtliche, das zu untersuchende Verhalten betreffende Veränderung erzeugte. Man sieht die Retina des Dunkelauges darin sogleich schrumpfen und sich an den Rändern farblos vom Epithel zurückziehen, und wenn man das Object weiter gehärtet und schnittfähig gemacht hat, die Schnittchen so auseinander splittern, dass sich Epithel und Stäbchen meist vollständig trennen. Wo die Trennung nicht erfolgt ist, findet man die Epithelgrenze in Gestalt einer scharfen, sanft welligen Linie, ohne auch nur kürzere Zacken und feinere Fortsätze zu den Stäbchen hinüberzusenden, ein Bild, das den natürlichen Verhältnissen keineswegs entspricht. Man brauchte von einem Dunkelauge, dessen Epithel vollkommen losliess, nur dieses anzusehen, um zu wissen, dass seine Zellen relativ lange, deren Höhe übertreffende, dicht mit Pigment gefüllte Fortsätze besitzen, und nur aus dem ganzen Hintergrunde solcher Augen Schnitte mit der Scheere anzufertigen, um gelegentlich Stücke anzutreffen, an denen man ohne Anwendung irgend welcher Reagentien das natürliche Verhalten erkannte, das ein Hineinragen von starken Pigmentfortsätzen in nahezu sämmtliche Zwischenräume der Stäbchen

Digitized by Google

mindestens bis auf $^1/_3$ ihrer Länge ergibt. Während des Lebens werden also die Zellen niemals cubisch oder nach vorn glatt und bartlos, und wenn sie sich von der Stäbchenschicht leicht trennen, ohne Pigment darin zurückzulassen, so heisst dies nur, dass die Zwischenräume zwischen den Stäbchen weit genug sind, und dass keine solide Verklebung der Fortsätze mit den Aussenflächen der Stäbchen besteht.

Da die in *Müller*'scher Lösung gehärteten Präparate den frischen durchaus entsprachen, glaubten wir die damit hergestellten Objecte für maassgebend halten zu dürfen. Auf dieselben bezieht sich das Folgende, das übrigens nur für vorwiegend centrale Theile der Netzhaut Geltung beansprucht.

A. Dunkelaugen.

1) Beim Dunkelfrosche (Temp. 17° C.), wo die Retina des andern Auges frei von Epithel und Pigment ausschlüpfte, sind die Epithelzellen relativ hoch und es zieht sich das schwarze Pigment darin bis nahe an die Oberfläche des farblosen äusseren Theiles an den Wänden in Gestalt eines Rahmens oder Kranzes in die Höhe. Der vordere, stark pigmentirte, undurchsichtige Theil ist in vielen Fällen schwach sanduhrförmig eingezogen, an der unteren Anschwellung mit so viel stärkeren Fortsätzen versehen, als es Stäbchenzwischenräume davor gibt. Diese sind an der Wurzel zwischen den am weitesten auseinanderstehenden Enden der Stäbchen, von ziemlicher Dicke, von mehrschichtigem Pigment erfüllt. Ihre Fortsetzungen nach vorn werden alsbald feiner und stellen dann nur einfache Reihen dicht aufeinander folgender Pigmentnadeln dar, welche grade bis an den Anfang der Innenglieder reichen, zwischen welchen die Retina bis zur M. limitans ext. pigmentfrei ist.

Nicht ödematöse Curarefrösche zeigen dasselbe.

2) Ein unter den eben genannten Bedingungen genommenes,

Digitized by Google

aber erst nach einstündigem Liegen im feuchten, dunklen Raume in die *Müller*'sche Lösung gebrachtes Auge zeigte die Pigmentzellen, wie in 1) etwa, während die Fortsätze ein ganz anderes Bild boten. Die meisten Pigmentnadeln fanden sich am mittleren Drittheile der Stäbchen zu stärkeren spindelförmigen Figuren angehäuft, so dass das hintere und das vordere Stück der Aussenglieder nur von sehr feinen Pigmentreihen begleitet wurde. An manchen Stellen reichen diese bis an die M. limit. ext. und sind fast überall zwischen den Innengliedern zu sehen.

3) Die Umstände wie in 1), aber der Frosch ist seit 2 Stunden in Eiswasser gehalten. Die Epithelzellen zeigen nur hie und da schwache Andeutung der Sanduhrform, sind im Uebrigen, wie in 1) und 2), auch reichen die Pigmentnadeln bis an die Wurzel der Aussenglieder. An den vorderen $^2/_3$ der letzteren liegt das Pigment jedoch ungemein spärlich, reichlich und dicht gepackt in den conischen Ursprüngen der Epithelfortsätze, welche sich zwischen die Enden der Aussenglieder drängen. In den gehärteten Schnitten reissen die Pigmentzellen etwas über den Stäbchen leicht ab, unter Zurücklassung einer dünneren Pigmentdecke auf der Stäbchenschicht. Wenn es erlaubt wäre diese Erscheinung auf eine Consistenzänderung vor der Härtung zu beziehen, so könnte die Ursache des Ausschlüpfens abgekühlter Dunkelnetzhäute mit dem Pigmente in solchem Reissen der Zellenleiber gesucht werden. Wir fanden aber derartig mit dem Pigmente gewonnene Präparate im frischen Zustande mit der ganzen Lage heiler Epithelzellen bedeckt. Wo das Verfahren aber nicht anschlägt, wie es zuweilen vorkommt und bereits erwähnt wurde, fanden wir oft noch so viel zerstreute Pigmentnadeln auf der Stäbchenfläche, dass wir eine geringere Cohäsion wenigstens an den Wurzeln der Fortsätze annehmen möchten.

4) Da das Curareödem dem Haften der Epitheldecke bei in Eiswasser gehaltenen Dunkelfröschen entgegen wirkt, wurden

Digitized by Google

noch von so behandelten Thieren Präparate angefertigt. Hier rissen am gehärteten Objecte die Zellen noch leichter ab, wie in 3). Die Pigmentschnüre erstreckten sich ebenfalls bis an die Wurzel der Aussenglieder, waren aber bedeutend mächtiger entwickelt oder reicher an Pigment, als in 3), vornehmlich in Höhe des mittleren Drittheiles der Stäbchen.

5) Endlich wurden noch solche Netzhäute betrachtet, bei denen die Stäbchenschicht mit grösster Leichtigkeit vom Epithel abgleitet, nämlich von ödematösen Curarefröschen, welche 2 Stunden bei 30° C. gehalten waren. Die Pigmentzellen, deren Leiber sich bis an die Chorioïdalfläche mit diffus verbreitetem Pigmente gefüllt zeigten, rissen an diesen Schnitten am leichtesten von der Stäbchengrenze ab, der Art, dass eine Anzahl kurzer kegelförmiger Fortsätze an ihnen hängen blieb. Zwischen den Stäbchen stiegen die Reihen der Pigmentnadeln auffälliger Weise ganz tief, bis an die M. limitans hinab, freilich so, dass die Nadeln in langen Zwischenräumen hintereinander lagen und die Stäbchenschicht im Ganzen nur sehr wenig Pigment behielt.

B. Belichtete Augen.

6) Präparate von 1—2 Stunden unter Berieselung besonnten Fröschen zeigten Epithelzellen, deren äusserstes Ende in weitester Ausdehnung pigmentfrei geworden, so dass nur der den Stäbchen aufliegende Antheil dichter davon erfüllt schien. Von hier erstreckten sich kurze, conische, dicht mit Pigment gefüllte Fortsätze um etwa $^1/_8$ der Stäbchenlänge nach vorn, dann kam ein hellerer Saum in den Schnitten zum Vorschein, wo zwischen sämmtlichen Stäbchen in kleinen Abständen aufeinanderfolgende Pigmentnadeln lagen. Dieser Theil der Stäbchenschicht betrug beinahe die Hälfte der ganzen Stäbchenlänge. Nach vorn trat dann das Pigment constant in grösseren Anhäufungen auf, meist so, dass es zwischen je 2 Stäbchen eine spindelförmige Figur

Digitized by Google

bildete. Zwischen den Innengliedern gab es nur sehr vereinzelte Pigmenttheilchen. Es stimmt dieses Bild augenscheinlich mit der Mehrzahl der früheren Beschreibungen und bildlichen Darstellungen und wir selbst fanden beim Durchmustern älterer Retinapräparate, die wohl meist von belichteten Augen stammten, fast überall die geschilderte merkwürdige Abschichtung des Pigmentes zwischen den Stäbchen.

7) Da die Eisbehandlung bezüglich des Epithelhaftens in gleichem Sinne wirkt, wie Belichtung, waren wir gespannt zu sehen, was die Combination beider Einflüsse zu Wege bringe. Wir fanden die Pigmentzellen wie bei 6, aber von ihrem Körper an mit dicken, ganz mit Pigment erfüllten Fortsätzen versehen, welche die Stäbchen nur etwa $^1/_3$ ihrer Länge nach vorn begleiteten. Der ganze Rest der Stäbchenschicht war merkwürdig frei von Pigment. Zu dem Versuche war übrigens Curare angewendet und ein leichter Grad von Oedem vielleicht im Eiswasser entstanden.

8) Um dem durch das Licht beförderten Haften entgegen zu wirken, wurden ödematöse Curarefrösche 2 Stunden bei 30° C. in der Sonne gehalten. Hier war im Controlauge die Retina sehr gut vom Epithel abzuziehen, aber sie war nicht ganz frei von Pigment in der Stäbchenschicht, von hellgrauer Färbung. Dem entsprach das mikroskopische Bild der Schnitte durchaus, insofern darin sehr feine Pigmentreihen bis zwischen die Innenglieder und an die M. limit. ext. reichten. Der Körper der Epithelzellen war, an den Rändern wenigstens, bis hinten mit Pigment versehen, nach vorn mit pigmentreichen Kegeln, die um mehr als $^1/_3$ einer Stäbchenlänge in die Retina reichten.

9) Längere Zeit roth belichtete Frösche, deren Purpur vollkommen erhalten geblieben, zeigten das überraschendste Bild. Die Epithelzellen waren überall förmlich von Pigment entleert, so dass selbst an der Grenze des Körpers, wo die Stäbchen be-

Digitized by Google

ginnen, nur mässige Anhäufung bestand. Noch pigmentärmer erwies sich das hintere Drittheil der Stäbchenschicht, wo nur je eine feine Reihe von Pigmentnadeln zwischen den Aussengliedern lag. Fast das ganze Pigment war in Gestalt dicker Säulen zwischen die vorderen Hälften der Stäbchen abgelagert. In der Schicht der Innenglieder wurden nur Spuren von Pigment gefunden, etwas grössere Anhäufungen höchstens um das äusserste Stück der Zapfeninnenglieder gelagert.

Zum Belege des eben Geschilderten sind die verschiedenen Lagerungen des Pigmentes in den beiden äussersten Netzhautschichten auf Taf. VI durch Abbildungen dargestellt. Dieselben wurden nach in Canadabalsam conservirten Präparaten gezeichnet. Bei der Zusammenstellung und Reihefolge der Figuren wurde das gröbere Verhalten berücksichtigt, so dass die beiden oberen Reihen nur solider verbundene, die beiden unteren leicht zu lockernde Schichten darstellen. Von diesen zeigt jede obere im Lichte, jede untere im Dunkeln entstandene Zustände.

Aus den beobachteten Thatsachen geht zunächst wieder mit grösster Evidenz hervor, dass das Epithelpigment unter allen Umständen zwischen die Stäbchen reicht und dass während des Lebens niemals von einer flachen, auch nur capillaren Schichte zwischen Epithel und Stäbchen die Rede sein kann, ferner dass das Pigment durch jede Belichtung, aber auch durch manche andere Umstände veranlasst wird tiefer zwischen die Stäbchen nach vorn zu wandern. Es wird die Aufgabe weiterer Untersuchungen werden, zu entscheiden, ob die Fäden des Epithels immer, wenigstens mit pigmentfreien Fortsätzen, was wahrscheinlich ist, bis zur M. limitans ext. reichen oder nicht. Von Bewegungserscheinungen ist nur eine innerhalb der heutigen thatsächlichen Erkenntniss bewiesen, nämlich die Abschichtung des Pigmentes: wird dasselbe in grösserer Menge zwischen die Stäbchen geschoben, so verarmt der Zellkörper daran, schwindet es

Digitized by Google

in der Stäbchenschicht, so füllt sich der Leib und das Pigment schreitet selbst über das Kern-Niveau an den Rändern der Zellen bis zur Chorioïdalgrenze nach hinten. Man sieht hieraus, dass es eine Bewegung des Pigmentes innerhalb des Protoplasmas, das es beherbergt, giebt, welche so wenig äussere Gestaltsänderungen des Zellenleibes nöthig macht, wie die Verlagerung eines Zinnober- oder Fettkörnchens innerhalb eines Lymphkörperchens es erfordert. An isolirten Zellen des Retinaepithels sieht man oft so lange pigmentlose feine Fortsätze, dass das Substrat oder die Strasse für die Verschiebung des Pigmentes nicht weit gesucht zu werden braucht. Daneben sind Gestaltsveränderungen der ganzen Zelle freilich nicht unwahrscheinlich, wenn anders aus den unter gewissen Umständen durch Härtung verschieden erhaltenen Gestalten und Dimensionen der Zellkörper etwas geschlossen werden darf. Ausserdem liegt in der Anhäufung starker spindelförmiger Pigmentballen und in der vollständigen Umscheidung der Stäbchen mit Pigment ein starker Grund für diese Annahme, da entsprechende farblose Verdickungen und röhrenförmige Protoplasmascheiden für die Stäbchen an den Epithelfortsätzen nie gesehen sind und freies Pigment, das vom Protoplasma ausgestossen worden, nicht anzunehmen ist, schon weil man nicht wüsste, wie es wieder von der Stelle käme, ohne in seine Ursprungsstätte zurückzugehen.

Es bedarf der Erwähnung kaum, dass die Annahme neuer Ausstülpungen aus dem Protoplasma nicht zum Leugnen unter allen Umständen vorhandener und bis zu den Wurzeln der Stäbchen reichender Fortsätze nöthigt.

Ohne weitere planmässige Untersuchungen wollen wir keine der Vermuthungen äussern, zu denen die Aehnlichkeit der Effecte, welche Licht und Dunkelheit einerseits, ganz anders geartete Einflüsse andrerseits hervorbringen, Anlass geben.

Bezüglich des Haftens und der Lockerung des Pigmentepithels

Digitized by Google

von den Stäbchen ergeben die Beobachtungen, dass die Ursachen in mehreren Umständen zu suchen sind: in der Schwellung der Stäbchen, in der Einpressung breiter Pigmentmassen tief zwischen die Stäbchen, in der Verklebung der Pigmentschnüre mit den Aussenflächen der Stäbchen, welche bemerkenswerther Weise durch Oedem zu lockern, durch Abnahme des intraocularen Druckes und durch Abkühlen zu steigern ist, und in der Cohäsion des Protoplasmas.

IV. Zur Chemie des Sehpurpurs.

Um für die Netzhautfarbe andere Lösungsmittel, als die Galle und die Cholate zu finden, haben wir eine grössere Anzahl von Reactionen mit der Retina vorgenommen, die wir jetzt, da der erwartete Erfolg, wie früher erwähnt wurde, ausgeblieben, als erste Erfahrungen zur Chemie des Sehpurpurs zusammenstellen. Des Zweckes wegen war hier anfangs die unbefriedigende Arbeit des Probirens unvermeidlich und wenn die folgende Darstellung dies wird erkennen lassen, so hoffen wir, dass es in dem Maasse weniger bemerkt wird, als sie an Thatsachen reicher wird, welche auch in der Untersuchung planmässigeres Vorgehen gestatteten.

Die Entdeckung des Sehpurpurs, oder der Substanz, welche die Netzhautfarbe bedingt, war aus der Ueberlegung hervorgegangen, dass das Substrat des Farbstoffs in den Stäbchen ähnliche chemische Zusammensetzung, wie das Nervenmark besitze und daher in Mitteln, welche dieses auflösen, löslich sein müsse (vergl. Heft 1, S. 41). Die Unmöglichkeit den Purpur mit Wasser, auch durch Gefrieren und Aufthauen, mit Salzlösungen, mit Ammoniak, kurz auf solche Weise zu extrahiren, wie man leicht lösliche Farbstoffe aus Geweben zu gewinnen pflegt, hatte ihn ausserdem selbst in die Reihe der Substanzen

Digitized by Google

gestellt, welche ähnlich denen seines Substrates oder des Nervenmarkes und mancher Baustoffe des Zellenleibes milderen Mitteln unzugänglich sind. So waren Hoffnungen nur auf Reagentien zu setzen, welche entweder auffällige Veränderungen an thierischen Geweben erzeugen, oder auf solche, welche schon an resistenteren Farbstoffen erprobt waren. Dass die Galle sowohl Stäbchen wie Blutkörperchen auflöst, ist vielleicht in dem Gehalte beider an Lecithin und an anderen dem sog. Myelin zugerechneten Stoffen begründet, schliesst aber keineswegs die Nothwendigkeit ein, dass der Sehpurpur dabei in Lösung gehe, wie das Hämoglobin, denn dieses ist auch in Wasser löslich und bedarf nach dem Zerfliessen seines Substrates keines besonderen Mittels mehr, wie jener, um auch gelöst zu werden. Die Möglichkeit Blutkörperchen auf so viele Weisen das Hämoglobin entziehen zu können, welche für den Sehpurpur nicht anschlagen, macht aus dem ausnahmsweise übereinstimmenden Erfolge mit Galle vielmehr einen Grund, den Purpur selbst für unlöslich in Wasser oder in wässrigen Gewebsäften, dagegen für löslich in dem sonderbarsten aller derartigen Mittel, das sich in der Galle findet, zu halten. Es ist deshalb ganz falsch, den Anfang des Weges, der zur Darstellung des Sehpurpurs führte, in dem lange bekannten Factum, dass Galle Blutkörperchen auflöst, erblicken zu wollen, denn diese Spur, die schon wegen der colossalen histogenetischen Differenz zwischen Blut- und Sinneszellen wenig einladen konnte, verdiente vollends nur nebenher berücksichtigt zu werden, als man sah, dass mit Ausnahme der Galle kein Hämoglobin lösendes Mittel für den Sehpurpur zu brauchen war. Unsere Beobachtung, dass Galle auch Nervenmark, Axencylinder und Cerebrin löst, was bis dahin Niemand wusste, war die Veranlassung, sie auf die Stäbchen und den Purpur anzuwenden und diese Erfahrung scheint, nachdem die Auflösung des letzteren geglückt und derselbe in die genannte Reihe eingerückt ist,

Digitized by Google

auch den Schlüssel zu manchen Eigenthümlichkeiten des Sehpurpurs sowohl, wie zu einigen seltsamen Lösungsphänomenen zu bieten, welche an thierischen Geweben, die in Galle lösliche Stoffe enthalten, bekannt sind.

In dieser Hinsicht sind allerdings die Blutkörperchen gegenwärtig von Interesse, und wir erinnerten uns darum zunächst noch des einen Mittels, das es ausser der Galle gab, welches sie in sehr eigenthümlicher Weise zerklüftet und zerfliessen macht. Concentrirte Harnstofflösungen, welche nach *Bischoff*'s bekannten Beobachtungen diese merkwürdige Wirkung haben, an den Stäbchen zu versuchen lag darum nahe und wir glaubten sie um so mehr darin löslich zu finden, als bereits einmal gelöster Sehpurpur im Auge eines (freilich gefaulten) Rochen (Heft 1, S. 37), dessen Gewebe sich durch reichlichen Harnstoffgehalt auszeichnen, angetroffen war. Versuche mit gesättigten Harnstofflösungen unter Zusatz überschüssiger Krystalle an der Froschretina ergaben ein Verhalten der Stäbchen, das insofern den Erwartungen entsprach, als dieselben stark quollen und zu einer eigenthümlichen durchsichtigen Masse verklebten, aber ein gefärbtes Filtrat davon zu erhalten gelang nicht, obwohl sie mehrere Tage im Dunkeln purpurn blieb und auch Flüssigkeit durch das Filter tropfte. Ebenso erfolglos war Behandlung mit verdünnter Harnstofflösung. Die unten zu berichtenden Erwärmungsversuche werden zeigen, dass Temperaturen, welche nach *M. Schultze*'s Beobachtungen Blutkörperchen unter Tropfenbildungen zerfliessen machen, ähnlich wie der Harnstoff, bei den Stäbchen keine Abgabe des Purpurs veranlassen.

Zum Entfernen von Farbstoffen hat die Galle den künstlichen Waschmitteln weichen müssen; es ist aber bekannt, dass sie noch heute neben den fettsauren Alkalien Anwendung findet und hinsichtlich des Sehpurpurs zeigt sie sich den Seifen durchaus überlegen, denn es hat uns nicht gelingen wollen, diesen mit ölsaurem

Digitized by Google

Natron in Lösung zu bringen; die trübe Auflösung käuflicher Talgseife entfärbte Froschretinae in 24 Stunden, ohne vorher Purpur auszuziehen.

Da kohlensaures Alkali und NH_3 ohne Wirkung sind und ätzende Alkalien die Netzhaut bleichen, waren unter den alkalischen Mitteln Baryt und Kalk an der Reihe. Beide entfärben die Netzhaut schnell, sowohl das sehr verdünnte Kalkwasser, wie stark verdünnte Lösungen des Bariumhydroxyds. Käufliches Tetramethylammoniumhydroxyd, das an Stelle des Neurins zum Auflösen diphteritischer Membranen empfohlen wird, entfärbte Netzhäute ebenfalls in kurzer Zeit, ebenso Coniin; in beiden zergingen sie zu einer durchsichtigen, schleimigen Masse. Mit Coniin vergiftete Frösche zeigten übrigens keine Veränderungen der Retina. Fast farbloses reinstes Anilin, auf getrocknete Retinae gebracht, machte dieselben sehr durchsichtig und nahm allmählich eine röthliche Farbe an, wie immer, wenn es verunreinigt wird; da dieselbe im Lichte zunahm, war an bemerkbare Auflösung des Sehpurpurs nicht zu denken. Die mit Kalk- oder Barytwasser entfärbten Retinae werden durch verdünnte, Sehpurpur an sich nicht ändernde Säuren nicht wieder farbig.

Als Lösungsmittel wurden ferner probirt: Chloralhydrat in 10procentiger Lösung, concentrirte Milchsäure, Oelsäure, Monochloressigsäure, an getrockneten Netzhäuten: Chloroform, Kohlenstofftetrachlorid, Kohlenstoffdichlorid, Schwefelkohlenstoff, Terpenthin, Canadabalsam, Aceton, Aldehyd, Bittermandelöl, Essigäther, Senföl, Bergamotöl und mit keinem der Zweck erreicht. Der Purpur zeigte sich dabei haltbar in den Chlorkohlenstoffen, Schwefelkohlenstoff, Oelsäure, Canadabalsam, Bergamotöl, nicht in den übrigen Mitteln. Chloroform vernichtete die Farbe der trocknen Netzhäute zuweilen schon in einigen Stunden, in andern Fällen erst nach 1—2 Tagen, Terpenthinöl immer erst nach Ablauf von 1—2 Tagen.

Digitized by Google

Indifferent erwiesen sich ausserdem: Kohlensäure, Kohlenoxyd, Borsäure, Cyanwasserstoff, selbst in starker Lösung, Cyankalium in fast gesättigter Lösung, Arsenige Säure, Schwefelwasserstoff, Schwefelammonium, Unterschwefligsaures und Schwefligsaures Natrium, Salpetrigsaures Natrium, Eisen- und Zinkvitriol, Eisenchlorid, Wasserstoffsuperoxyd, Ozon, Santonsäure und Santonsaures Natrium, frisch bereitete Lösung von Phosphor in Mandelöl. In Santonsäure quoll die Froschnetzhaut zu einer glasigen Masse auf, die im Dunkeln wochenlang prächtig purpurfarben blieb und im Lichte sehr schnell farblos wurde. Mit Santonin oder mit Natriumsantonat vergiftete Kaninchen und Frösche zeigten bezüglich der Retinafarbe und deren Verhalten gegen Licht nichts Auffälliges.

Unter diesen Angaben werden die über Unwirksamkeit energischer Oxydationsmittel besonders auffallen. Wir waren darauf durch die älteren Erfahrungen über Erhaltung des Sehpurpurs in Osmiumsäure und in Kaliumpermanganat zwar vorbereitet, dass aber das Ozon über den Sehpurpur nichts vermöge, war uns so überraschend, dass wir den Oxydationsversuchen ganz besondere Sorgfalt zuwendeten. Zunächst müssen wir für die Nachuntersuchung bemerken, dass man bei der OsO_4 und dem Permanganat leicht zu einer gegentheiligen Meinung kommt, weil hier dunkle Reductionsproducte den Stäbchenpurpur verdecken und weil das Permanganat reducirt freies Alkali liefert, das den Sehpurpur zerstört. Dasselbe ist daher nur in verdünnter Lösung zugleich mit etwa 2procentiger Essigsäure anzuwenden, welche das Alkali neutralisirt und die Ausscheidung reducirter Manganverbindungen einschränkt. Ganz wird die Bräunung damit auch anfangs nicht verhindert, und es verdient bemerkt zu werden, dass dieselbe an der Stäbchenseite immer kräftiger, als an der vorderen auftritt. So lange die Stäbchen jedoch nicht ganz tief gebräunt sind, ist der Farbenunterschied

Digitized by Google

belichtet oder purpurhaltig in dieselbe Mischung gelegter Netzhäute sehr auffällig. Verschiedenheiten im Gange der Reduction und in dem Fortschreiten der Bräunung waren an solchen Präparaten nicht zu bemerken. Für das Verhalten der Stäbchen zu Osmiumsäure, wo ausserdem die Zeit, innerhalb welcher die vergleichende Beobachtung wegen der schnell erfolgenden Schwärzung möglich ist, bedeutend kürzer sein muss, gilt es dem gleichen Bedenken, wie bei dem vorgenannten Mittel zu begegnen, und da ist besonders der Gebrauch sehr verdünnter Lösungen anzurathen und die absolute Menge der Säure zu beachten, die in keinem Falle erheblich sein darf. Ob die Mittel nach längerer Wirkung den Sehpurpur zerstören, ist nicht zu entscheiden, doch möchten wir es für die OsO_4 annehmen, weil viele Stäbchen darin nur so hell olivenfarben werden, dass der Purpur entweder sichtbar bleiben müsste, wenn er neben dieser Farbe vorhanden wäre, oder die helle, ohne Frage grünliche Farbe als Complementär überhaupt nicht zulassen könnte.

In Wasserstoffsuperoxyd, das aus reinem Baryumhyperoxydhydrat mit SH_2O_4 dargestellt worden, sahen wir die Retina sich stark mit Sauerstoffbläschen, die sie alsbald an die Oberfläche hoben, bedecken, ohne dass nach längerer Einwirkung grosser Mengen die Farbe irgend welche Veränderung erlitt. War die Lösung alkalisch und trübe, so schwand der Sehpurpur unter dem Einflusse des Baryts bald, während die saure Lösung erst bei beträchtlicher Intensität der Lakmusreaction schnellere Bleichung erzeugte.

Der Einfluss des Ozons wurde so untersucht, dass wir die Froschretina direkt in das Abzugsrohr des *Siemens*'schen Ozonisators legten und dieses mit dem ganzen Apparate etwas nach abwärts geneigt mit der Mündung in ein kleines Röhrchen senkten, welches einige Tropfen gelösten Sehpurpurs enthielt. Der Ozonisator war mit einem Inductorium mittlerer Grösse, dieses mit einer 6gliedrigen grossen *Bunsen*'schen Chromsäurekette ver-

Digitized by Google

bunden, und durch den Apparat strömte reiner Sauerstoff mit geeigneter Geschwindigkeit. Durch ein Versehen wurden die Zink-Kohlenelemente beim ersten Versuche ganz eingetaucht, so dass ein gewaltiger Strom in Anwendung kam, der die meisten Apparate unbrauchbar gemacht hätte. Da der unserige es aushielt und nach wiederholten Versuchen keinen Schaden nahm, haben wir den Glücksfall benutzt und jeder Zeit den Vortheil gehabt, eine so kräftige Ozonisirung des Gasstromes zu erreichen, dass der Aufenthalt vor dem Apparat fast unerträglich wurde. Unter diesen Umständen sahen wir zu unserem Erstaunen, dass sich die Farbe der Retina nach stundenlangem Ueberleiten des Gases gar nicht änderte und dass sich die davon beständig zerpeitschte Purpurlösung ebensowenig verändert zeigte, wenn man die winzige Menge zur Ruhe kommen und am Boden des Röhrchens wieder zusammenlaufen liess. Da die Objecte alkalisch reagirten, so dass das Ozon Superoxyde bilden konnte, wurden mit 1—2proc. Essig- oder Milchsäure gründlich gesäuerte Netzhäute und bis zum Entstehen geringer Ausscheidungen freier Gallensäuren angesäuerte Purpurlösungen dem Ozon ausgesetzt, aber diese zeigten sich darin ebensowenig veränderlich.

Nach den Angaben von *v. Gorup-Besanez*, welche an manchen oxydablen Körpern Ozonwirkung nur in Gegenwart von Alkali zugeben, haben wir nicht versäumt den Versuch noch unter Zusatz von Sodalösung oder von NH_3 zu beiden Präparaten auszuführen, doch auch das erhielt den Sehpurpur unversehrt. Um uns zu überzeugen, dass sich kein Fehler in den Versuch geschlichen habe, setzten wir Tröpfchen Indigolösung in das Rohr und bedeckten das Purpurröhrchen mit einer locker schliessenden Kautschukkappe; der Indigo wurde schliesslich entfärbt und der Kautschuk brüchig, wie schlechte Guttapercha, wo der Sehpurpur unangetastet blieb. Nach dem Versuche waren die Präparate so lichtempfindlich wie gewöhnlich.

Digitized by Google

Dieser Unempfindlichkeit gegen activen Sauerstoff steht die leichte Zerstörbarkeit des Sehpurpurs gegenüber: durch Chlor, salpetrige Säure und unterchlorigsaure Salze, welche schon in Spuren die Netzhaut und deren Galleextract unwiderbringlich bleichen. Unterschwefligsaures und schwefligsaures Natron, die an sich die Farbe erhalten, färben solche Präparate nicht wieder. Wie Brom und Jod auf den Purpur wirken, ist schwer zu entscheiden, weil deren verdünnte (nicht alkoholische) Lösungen oder die Dämpfe die Netzhaut stark gelb färben; Bromwasser scheint indess ziemlich langsam zu wirken; Salpetrigsaures Alkali ändert den Sehpurpur nicht.

Welche Stoffe die Netzhaut entfärben, wurde z. Th. schon gelegentlich angegeben. Ausser vom Methylalkohol fanden wir es auch vom Amylalkohol und für den ersteren constatirten wir, dass er im völlig wasserfreien Zustande gänzlich getrocknete Netzhäute fast augenblicklich bleicht.

Entfärbt oder verfärbt wird Sehpurpur an seinem natürlichen Platze oder in der Cholatlösung von: Chlorzink, Platinchlorid, Goldchlorid, Sublimat, salpetersaurem Silber, den meisten Säuren, von Salicylsäure, Thymol, Furfurol. Wir haben die letzten 3 Körper in der Absicht berücksichtigt, die Purpur-Cholat-Lösung gegen Fäulniss zu schützen. Von der Salicylsäure wurde früher schon berichtet, dass sie in schwacher wässriger Lösung schon gefährlich sei, wenn nicht reichlich andere organische Stoffe zugegen sind; Thymol zu $^1/_2$ pCt. in Galle von 5 pCt. gelöst macht die Netzhaut in wenigen Minuten hellgelb, ebenso eine ziemlich verdünnte Lösung von Furfurol in Wasser.

Unter den Säuren haben wir besonders die Salzsäure genauer behandelt. In HCl von 5 pCt. wurde die Netzhaut in 15 Min. blassgelb, während sie in der Säure von 0,5 pCt. noch nach 30 Min. blassroth erschien. HCl von 0,1 pCt. lässt die Stäbchenschicht nach 30 Min. gequollen und hell lackfarben roth erscheinen,

Digitized by Google

nach 60 Min blasser, nach 15 Stunden lichtgelb, nach 24 Stunden farblos. Neutralisiren oder Uebersättigen mit NH_3 oder Soda bringt die geschwundene Farbe nirgends zurück. Sehr kleine Mengen concentrirterer Säuren wirken wie grössere Volumina verdünnter. Aehnliches gilt für Essigsäure und Oxalsäure; eine Lösung der letzteren von 2,5 pCt. färbte die Netzhaut sofort gelb, während Essigsäure von gleicher Concentration nach 24 Stunden noch rothe Farbe erhalten hatte. Ganz concentrirte Milchsäure färbte die Retina sofort orangegelb, wobei die Stäbchen sich stark gequollen, um das 4fache verlängert und etwas verdickt zeigten. Milchsäure von 1 pCt. trübte die Retina bedeutend, änderte aber die Farbe so wenig, wie Essigsäure von gleicher Concentration.

Nach Einwirkung der meisten verdünnten Säuren heben sich die Stäbchen häufig in zusammenhängender Schicht von der Retina ab.

Schweflige Säure in so verdünnter wässriger Lösung, dass dieselbe kaum roch, entfärbte eine Netzhaut in 15 Min., in gerade deutlich riechender Concentration sofort und eine über diese Lösung in die abdunstende SO_2 gehaltene Netzhaut wurde in 2 Minuten farblos.

Zum Beweise, dass es nicht SH_2O_4 war, die sich in dem schwefligsauren Wasser gebildet und gewirkt haben konnte, wurde festgestellt, dass Kochen die Lösungen unwirksam machte. Eine in äusserst verdünnte, erst nach 15 Min. im Dunkeln bleichend wirkende SO_2 2—3 Min. eingelegte Retina wurde im Lichte so schnell entfärbt, wie immer. Nach der Bleichung in schwefliger Säure kehrte die Netzhautfarbe weder durch Soda noch durch Kaliumpermanganat, Wasserstoffsuperoxyd oder Ozon wieder.

Die Entfärbung des Sehpurpurs durch chemische Einflüsse geschieht in vielen Fällen nicht plötzlich und geht dann, wie die durch Licht, erst durch eine rothe, orange, gelbe oder chamois

Digitized by Google

Nuance zum Weiss. In manchen Fällen handelt es sich da ohne Frage um eine der Lichtwirkung analoge Zersetzung, so dass aus der Natur des zersetzenden Reagens Schlüsse auf den Process der natürlichen Bleichung möglich werden. Andererseits tritt aber die Zerstörung des Purpurs auch unter Bildung gelber Stoffe auf, die mit dem Sehgelb nicht zusammenzustellen sind. Wenn eine Retina in Jod und Brom gelb wird, bezweifelt dies Niemand, weil sich nicht nur gebleichte Netzhäute, sondern auch viele andere Gewebe ebenso verhalten; um etwas Aehnliches scheint es sich bei dem Gelbwerden der Netzhäute in Platinchlorid zu handeln, aber verdünnte Lösungen des Salzes schienen uns doch purpurhaltige Netzhäute auffälliger gelb und dann für das Licht sehr dauerhaft zu färben, als gebleichte. Goldchlorid liess solche Unterschiede kaum erkennen, noch weniger Salpetersaures Silber von 1 pCt., das eine graue Farbe erzeugte. Sublimat in ziemlich concentrirter Lösung färbt nur die ungebleichte Netzhaut hell gelblichrosa, welche Farbe nach längerer Einwirkung ausserordentlich lichtbeständig ist und darum besonders beim Frosche zum Fixiren von Optogrammen dienen kann.

Das Sehgelb.

In dem Abschnitte über Fluorescenz der Retina haben wir schon eines Falles gedacht, wo der Purpur durch die chemische Wirkung des Chlorzinks, ohne Licht, in eine gelbe, nicht mehr fluorescirende Farbe übergeht, welche dem Lichte länger widersteht und nur an der Sonne allmählich farblos wird, unter Annahme der für belichteten Purpur charakteristischen Fluorescenz. Unsere Auffassung der dort mitgetheilten Thatsachen hat in weiteren Beobachtungen Bestätigung gefunden, insofern wir jetzt auch zeigen können, wie umgekehrt, ohne chemische Hülfe, nur durch Licht aus dem Purpur nach Belieben erst ausschliesslich Sehgelb und aus diesem Sehweiss zu erzeugen ist.

Digitized by Google

Im Allgemeinen ist das durch Reagentien in der Netzhaut — ohne Licht — erzeugte Gelb in erstaunlichem Grade weniger lichtempfindlich als das im ersten Stadium der Belichtung auftretende, während die unter den nämlichen Einflüssen in der Lösung des Purpurs erzeugte Gelbfärbung oft schon durch das Reagens schnell weiter verändert und gänzlich aufgehoben wird, oder sonst der Sonne leicht weicht. Es sind hier folgende Thatsachen zunächst zu beachten und zu unterscheiden:

1) Viele Reagentien, die an sich den Purpur erst nach längerer Zeit oder gar nicht angreifen, ändern die Retina der Art, dass Belichtung zwar noch Sehgelb in der normalen Zeit erzeugt, dass aber dieses nun äusserst langsam farblos wird. 2) In Purpurlösungen tritt diess so wenig ein, wie in Auflösungen von Sehgelb, welche aus Netzhäuten, die im Lichte bis zum Gelb ausgebleicht worden, mit Galle herzustellen sind, wohl aber wiederum, wenn der Farbstoff in Niederschläge übergeht. Die Erscheinung wird an den Lösungen am zweckmässigsten mittelst passend verdünnter Säure, an der Netzhaut auf dieselbe Weise oder durch concentrirte Salzlösungen hergestellt. 3) Gibt es Netzhäute, welche ohne alle chemische Behandlung ein indolenteres Sehgelb durch Belichtung liefern. Unter diesen sind 2 Fälle zu unterscheiden: entweder ist die Retina von vornherein nicht normal, was sich bei Dunkelfröschen an der im ersten Augenblicke, nach dem Herausholen schon vorhandenen brandrothen Färbung zeigt, oder sie hat die normale Purpurfarbe und zeigt das resistente Sehgelb dann im Gange der Lichtbleiche. Das erstere haben wir bis jetzt nur bei Fröschen und wenige Male bei albinotischen, lange im Dunkeln gehaltenen Kaninchen beobachtet. Unter den mehr als 8000 Froschnetzhäuten, die wir bis heute verarbeiteten, dürfte die Thatsache vielleicht 20—30 mal von uns gesehen sein. Viel häufiger ist das letztere, bei Fröschen jedoch selten so, dass das Gelb der Sonne länger als 2—3 Stunden widersteht; am auf-

Digitized by Google

fälligsten sahen wir es einige Male an der Retina des Aals, der Eule und des Igels, wo die Netzhaut erst am dritten Sonnentage ganz farblos wurde. An keiner darauf untersuchten Membran dieses Verhaltens wurden andere Abnormitäten gesehen, namentlich keine im frischen Zustande schon vorhandene oder ungewöhnlich schnell auftretende Trübung der Gewebe.

Ein Umstand, welcher fast regelmässig die Entstehung haltbareren Sehgelbs begünstigt, ist das Absterben, so dass heute, wo die Retinafarbe allgemeiner beachtet und Dunkelaugen häufiger untersucht werden, die meisten Beobachter kaum begreifen werden, weshalb man nicht wenigstens die gelbe Retina früher gekannt habe. Man kann die Netzhäute der Säuger an vom Schlächter bezogenen und nicht mehr ganz frischen Augen häufig ganz unbedenklich im Tageslichte präpariren, ja die Augen vorher gegen das Licht gewendet liegen lassen, ohne befürchten zu müssen, ganz farblose Membranen zu erhalten, denn wenn dieselben auch keinen Purpur mehr zeigen, so sind sie doch zum Untersuchen des Sehgelb noch ganz geeignet. Die Leichenprocesse, auf die es dabei ankommt, verlaufen auch in der isolirten Retina, die man deshalb nur im feuchten Raume dunkel aufzuheben braucht, wenn man darin später das indolente Sehgelb durch Licht erzeugen will.

Aus diesen und den folgenden Erfahrungen meinen wir schliessen zu müssen, dass das Sehgelb unter Umständen an andere Dinge gebunden oder fixirt werde, und daher die Lichtempfindlichkeit zum Theil oder ganz verliere. Die Stoffe, auf welche es sich fixirt, dürften sehr verschieden sein und sind einstweilen nicht zu bezeichnen. Sehr unwahrscheinlich ist es uns aber, dass freies Sehgelb indolent werde, da die Erscheinung, wie schon hervorgehoben, niemals an seiner Lösung zu bemerken ist. Das Sehgelb würde demnach in viel vollkommenerer Weise als der Sehpurpur durch Verbindung mit anderen Stoffen halt-

Digitized by Google

bar zu machen sein, und unsere jetzt fast einjährigen Erfahrungen über das Fixiren von Optogrammen (vergl. S. 86) zeigen denn auch, dass es auf die Dauer nicht gelingt, purpurne Bilder im Lichte aufzubewahren, während die daraus sich entwickelnden gelben Zeichnungen, wenigstens auf der Ochsenretina, unverwüstlich scheinen, so lange sie trocken bleiben.

Da die Netzhaut in höheren Temperaturen schneller abstirbt, als in niederen und das Sehgelb in abgestorbenen Stäbchen indolenter ist, als in frischen, so wird der Gang der Ausbleichung durch Licht innerhalb gewisser Grenzen auch von der Temperatur abhängig sein und wir haben, als wir darüber experimentirten, in der That das wenig plausible Resultat zu erzielen vermocht, dass auf Eis gehaltene Netzhäute in den wirksamen Farben des Spectrums schneller farblos wurden, als auf 30° C. erwärmte. So lange es sich um das erste Stadium der Wandlung des Purpurs zu Gelb handelte, verhielten sich die Netzhäute dabei freilich entweder gleich oder auch umgekehrt, wenn man aber den Effekt aus der vollkommenen Ausbleichung entnehmen wollte, so zeigten sich die kalten zuweilen gegen alle Erwartung lichtempfindlicher. Um die Thatsache zu finden, muss man freilich längere Zeit vor der Belichtung mit dem Erwärmen anfangen; wir theilen den Versuch vornehmlich deshalb mit, weil die Bekanntschaft damit Anderen bei lange dauernden Spectralversuchen, die vorzugsweise im warmen Sommer angestellt werden dürften, Irrthümer ersparen kann.

Um eine Retina mit indolentem Sehgelb zu versehen, fanden wir es zweckmässig, sie 24—48 Stunden über die Aussenfläche zusammengeklappt in dem Lymphsacke eines lebenden Frosches verweilen und absterben zu lassen und darauf kurze Zeit zu besonnen. Auf diese Weise ist es uns wiederholt gelungen, an der gelben Membran die Fluorescenz im Focus der ultravioletten Strahlen des Sonnenlichtes auf der Hinterfläche so gut wie voll-

Digitized by Google

kommen aufgehoben zu finden, und dieselbe nach gehöriger weiterer Belichtung, als das Sehgelb endlich schwand, mit weisslich grüner Farbe und viel stärker zum Vorschein kommen zu sehen, als sie vor der ersten Belichtung an den noch purpurnen Stäbchen war. Die zweite Methode nur Sehgelb ohne Sehweiss durch Licht zu erzeugen, bestand in der Belichtung vollkommen getrockneter Netzhäute. Die Retinae wurden dazu auf Plättchen von Thon oder mattem Porzellan mit der Stäbchenseite nach oben ausgebreitet, über SH_2O_4 im continuirlichen Vacuum getrocknet, dann im Exsiccator, der mit einer durchsichtigen Platte luftdicht geschlossen war, so lange der Sonne exponirt, bis die Netzhautfarbe tiefgelb geworden. In diesem Zustande war die Fluorescenz wieder fast vollkommen erloschen und kam auch nicht zum Vorscheine, wenn das Präparat wieder gründlich befeuchtet wurde. Benetzt und weiter belichtet zeigte es dann das grünliche Leuchten im Ueberviolet und dies wurde in dem Grade deutlicher, als das Gelb abblasste oder verschwand. Da im Trockenraume befindliche Retinae ebenso wie der im Vacuum erhaltene Rückstand von Purpurlösungen im direkten Sonnenlichte ungemein lange tief gelb bleiben, so dass wir schon vermutheten das Sehgelb werde ohne Gegenwart von H_2O überhaupt nicht weiter zersetzt, betrachteten wir auch solche gründlich besonnte Präparate im überviolettten Lichte. An diesen war jedoch die grünlichweisse Fluorescenz sehr deutlich, also offenbar schon Sehweiss neben dem Sehgelb gebildet, und später überzeugten wir uns auch, dass die gelben Froschretinae im Exsiccator nach zweitägiger Besonnung völlig entfärbt wurden.

Indem wir nach den vorliegenden Beobachtungen unsere Auffassung von der Bleichungsweise des schwach bläulichweiss fluorescirenden Sehpurpurs durch das gar nicht fluorescirende Sehgelb zum kräftig und grünlichweiss fluorescirenden Sehweiss für gesichert hielten, haben wir den Versuch gemacht, mittelst

Digitized by Google

des Verhaltens im Ueberviolet zu entscheiden, welche chemischen Einflüsse gleich dem Lichte wirken, ob also diejenigen Reagentien, welche die Retina gelb färben, wirkliches Sehgelb erzeugen, die sie total bleichenden, Sehweiss?

Eine Dunkelretina, welche mit einem Tropfen Alkohol entfärbt worden, zeigte gar keine Fluorescenz; nachträglich belichtet ebensowenig. Eine nach der Belichtung mit Alkohol behandelte Retina fluorescirte dagegen kräftig weisslichgrün. Hiernach wirkt Alkohol auf den Sehpurpur anders, als Licht, erzeugt kein Sehweiss, scheint aber einmal durch Licht gebildetes nicht zu zerstören.

Retinae, die in einer Spur 15procentiger Essigsäure gelb geworden, waren frei von Fluorescenz, zeigten später belichtet, aber bei noch hellgelber Eigenfarbe, schwache weissliche Fluorescenz ohne erkennbares Grün. Vorher gebleichte Netzhäute in derselben Weise mit Essigsäure behandelt, fluorescirten weisslichgrün und kräftig. Das Verhalten ist also ähnlich, wie beim Chlorzink (S. 182). Eine über SH_2O_4 im Dunkeln getrocknete Netzhaut, $^1/_2$ Stunde mit einer Spur Essigsäure von 30 pCt. bis zum Orange verändert, fluorescirte sehr schwach bläulich, wie wenn noch Sehpurpur neben dem Sehgelb vorhanden war; darauf in $^1/_4$ Stunde an der Sonne citronengelb geworden, hatte sich ihre Fluorescenz kaum geändert; als sie aber durch weiteres 2stündiges Besonnen sehr blassgelb geworden war, fluorescirte sie sehr lebhaft grünlichweiss. Der gelbe Körper, der anfangs aus Sehpurpur durch Essigsäure entsteht, scheint also Sehgelb zu sein.

Durchaus anders, als die obengenannten Mittel, wirkte freies Alkali auf die Netzhaut, denn als wir Dunkelretinae in Kalilauge von 1 pCt. entfärbt hatten, fanden wir weder die gequollenen Membranen, noch die kleine Menge der Lösung fluorescirend. Netzhäute, welche nach der Lichtbleiche in die Lauge gelegt

Digitized by Google

worden, verhielten sich ebenso, aber die Kalilösung zeigte eine Spur bläulichweissen Leuchtens im Ueberviolet.

Mit Platinchlorid gelb gewordene Froschretinae schienen alle Fluorescenz eingebüsst zu haben und nahmen das Vermögen dazu auch durch Belichtung nicht an. Vorher belichtete, dann mit Platinchlorid behandelte Netzhäute fluorescirten ebensowenig. Dunkelretinae, welche in Sublimat die oben erwähnte sehr lichtbeständige gelbliche Rosafarbe angenommen hatten, zeigten weder vor aller Belichtung, noch nach stundenlanger Besonnung irgend welche bemerkliche Fluorescenz, während gebleichte und darauf in Sublimat gelegte Netzhäute sehr schwach weisslich fluorescirten; doch wurde in einigen Versuchen die letztere Erscheinung auch vermisst.

In Wasser von 70° C. unter Lichtschutz bis zur Entfärbung erhitzte Froschnetzhäute erschienen im Ueberviolet ganz dunkel, während eine vollkommen getrocknete und im geschlossenen Röhrchen über wasserfreier Phosphorsäure auf 100° C. erhitzte und dabei gelb gewordene Netzhaut schwach weisslichgrün fluorescirte. Belichtung verstärkte dies Verhalten nicht.

Nach diesen ersten jedenfalls noch stark zu vermehrenden Erfahrungen, die wir mitzutheilen uns nur entschliessen, weil Aussichten auf Fortsetzung einstweilen durch die lichtschwache Jahreszeit genommen sind, lässt sich schon absehen, dass es manche Reagentien gibt, welche, wie das Licht, Sehgelb aus dem Purpur erzeugen, so die Essigsäure, das Chlorzink, Sublimat; dagegen wurde ausser dem Lichte kein Mittel zur Herstellung des Sehweiss oder zum vollkommenen Entfärben gefunden, das die starke und charakteristisch weisslichgrüne Fluorescenz auf gewöhnlichem Wege gebleichter Netzhäute entwickelte.

Sublimat (vielleicht auch Platinchlorid) scheint das Mittel zu sein, um das Sehgelb in die für Licht nahezu unveränderliche Verbindung überzuführen.

Digitized by Google

Für die Untersuchung des Sehweiss dürfte die Thatsache, dass Alkohol die Fluorescenz gebleichten Purpurs erhält, einigen Nutzen versprechen.

Enthält der Sehpurpur Eisen?

Bei thierischen Farbstoffen pflegt aus naheliegenden Rücksichten gegen das Blutroth die Frage nach dem Gehalte an Eisen aufgeworfen zu werden. Wir glauben annehmen zu dürfen, dass der Sehpurpur kein Eisen enthält, thun es aber aus Gründen, deren Berechtigung Jeder einsieht, unter starker Reserve. Wir sammelten einige gut ausgeschlüpfte Netzhäute von Dunkelfröschen und wählten darunter diejenigen aus, welche bei der Präparation der Hyaloïdea beraubt waren, oder deren Gefässe in der genannten Membran keine Blutkörperchen enthielten, was sich durch mikroskopische Betrachtung der Vorderfläche leicht feststellen liess. Ein gutes Mittel die Hyaloïdea mit dem Glaskörper abschlüpfen zu lassen, ohne auf den günstigen Zufall rechnen oder Zupfen und Schaben anwenden zu müssen, fand sich in den cadaverösen Veränderungen, welche das Auge in einigen Tagen erleidet, und da die Netzhäute dann wieder vom Epithel gelockert waren, haben wir auch solche für den vorliegenden Zweck verwendet.

Die Membranen wurden nach- und übereinander auf einem Häkchen von feinem Platindraht angetrocknet und, wenn 6—8 beisammen waren, durch Annähern an die Flamme langsam verkohlt und sehr vorsichtig verascht, was ohne Verlust zu bewerkstelligen war. Wurde das mit der Asche beladene Platinöhr in einige Tropfen nicht zu concentrirter, mit etwas Rhodankalium versetzter Salzsäure gehalten, so war es unmöglich, irgend welche Spur rother Färbung in der Umgebung der sich auflösenden Asche auftreten zu sehen. Ebenso wenig sah man in ähnlich verdünnter mit Ferrocyankalium versetzter Salzsäure dabei blaue Farbe auftreten.

Digitized by Google

Wir haben uns allerdings keine Salzsäure verschaffen können, welche nicht an sich vor dem Hineinhalten der Retinaasche schon die entsprechende Eisenreaction gegeben hätte, die Säure war aber doch so rein, dass die schwachen Färbungen des Reagens nicht störten. Dass die Probe für ausserordentlich geringe Quantitäten Eisen ausreiche, sahen wir, als wir sie mit einer winzigen Menge Blut, mit einem Gerinnsel vom Frosche, das noch nicht $^1/_{20}$ vom Volum einer Retina betragen mochte, oder mit einigen Netzhäuten, deren Hyaloïdea erhalten geblieben, und Blutkörperchen aufwies, anstellten. Damit trat die Reaction so gut ein, dass man nicht nur einen rothen Hof gleich nach dem Eintauchen des Drahtes um dessen Ende entstehen, sondern auch einen feinen rothen Faden in der Lösung auf den Boden des Porzellantiegelchens, das sie enthielt, sinken sah.

Mehr Material gewannen wir aus Kaninchennetzhäuten, indem wir die im vorigen Capitel erwähnten Optogramme, welche zu nichts mehr dienten, von den Porzellanschälchen, auf die sie angetrocknet waren, mit einem Platinmesser abschabten. Da diese Retinae nur in der Papille und in dem weissen Balken markführender Nerven Blutgefässe enthielten, brauchte man nur diesen zurückzulassen, um blutfreies Material zu gewinnen. Der Alaun, welcher zum Härten gedient hatte, war sehr rein und gab in gesättigter Lösung kaum deutlichere Eisenreactionen, als die zum Auflösen der Asche verwendete Salzsäure. Die Gesammtmenge des zu dem einzigen Versuche verwendeten Retinapulvers betrug lufttrocken 0,2 gr. Dasselbe wurde im Porzellantiegel verascht, der Tiegelinhalt mit wenig Salzsäure erwärmt, etwas verdünnt, durch ein sehr kleines eisenfreies Filter filtrirt und in 2 Hälften getheilt mit den beiden Eisenreagentien gemischt. In beiden war Zunahme der entsprechenden Färbung zweifellos, aber die Reactionen waren doch so schwach, dass nur von Spuren an Eisen die Rede sein konnte. Erwägt man, dass die Retinalgewebe an sich solche

Digitized by Google

Spuren enthalten können, dass ferner die Netzhäute mit stählernen Instrumenten aus dem Alaun, der sie angreift, hervorgeholt waren, so durfte ein geringer Eisengehalt schon erwartet werden. Wenn aber der Sehpurpur ein eisenhaltiger Körper wäre, hätte die Reaction mit der Asche einer so bedeutenden Anzahl Netzhäute, deren grösster Theil beim Optographiren farbig geblieben war, selbst wenn Sehweiss resorbirt worden, erheblicher ausfallen müssen.

Vom Einflusse der Temperatur auf den Sehpurpur.

Welches Interesse das Verhalten und etwaige Veränderungen der Retinafarbe oder des Sehpurpurs beim Erwärmen bieten, wurde in dem Vorhergehenden wiederholt berührt. Unsere Versuche darüber sind in dem Folgenden zusammengestellt.

Frische Retinae von Dunkelfröschen wurden mit der Stäbchenseite gegen die Wand kleiner geschlossener Glasröhrchen, deren Boden etwas Wasser bedeckte, geklebt und die letzteren in ein grösseres Wasserbad getaucht. So wurde gefunden, dass die Stäbchenschicht sich in sehr kurzer, nicht zu bestimmender Zeit bei 76° C. im Dunkeln vollkommen entfärbte; sie war dann meist ohne jede Spur von Gelb und opak. Bei 75° C. geschah dasselbe in 1 Min., bei 71° C. in 5 M., bei 70° C. in 8 Min., bei 65° C. erst in 30 Min., bei 60° C. in 1 Stunde, bei 53° C. und 52° C. erst in mehreren Stunden. Bei 51° C. und 50° C. schien ausser dem Opakwerden gar keine Veränderung mehr zu erfolgen. Zwischen 65° C. und 70° C. ging dem vollkommenen Erblassen immer ein Stadium voran, in welchem die Farbe gelb oder chamois aussah.

Da die Erwärmung der Glasröhrchen einige Zeit in Anspruch nehmen musste, bevor die Retina die Temperatur des Bades annahm, wurde eine zweite Versuchsreihe so ausgeführt, dass man die Präparate in weite kurze Röhrchen, welche bereits

Digitized by Google

erwärmte halbprocentige NaCl-Lösung enthielten, versenkte. Momentane Bleichung wurde jetzt schon bei 74° C. beobachtet, bei 72° C. Bleichung in 1 Min., bei 70° C. in 3 Min., unterhalb welcher Temperatur die Veränderungen in derselben Weise und in denselben Zeiten verliefen, wie früher. In destillirtem Wasser fiel die Reihe genau so aus, ebenso in NaCl von 10 p. Ct. und von noch stärkerer Concentration. 52° C. schienen überall die niederste Temperatur zu sein, die noch Farbenveränderung erzeugte.

Sehpurpur von je 30 Froschnetzhäuten in 1 C.C. 2procentiger Galle gelöst, zeigte in schmale, dünnwandige Glasröhrchen gefüllt, folgendes Verhalten. Bei 72° C. trat momentan Entfärbung ein, bei 70° C. in 2 Min., bei 66° C. in 3 Min., bei 63° C. in 10 Min., bei 54° C. in 30 Min. sehr helle Chamois-Farben, bei 53° C. in ebenfalls 30 Min. etwas gesättigteres Chamois, bei 50° C. in mehreren Stunden keine Veränderung.

Die untere Grenze der Zersetzungstemperaturen ist also bei der Purpurlösung dieselbe, wie für den Purpur in den Stäbchen, während die höheren Temperaturen von 63° C. an auf die Lösung energischer, als auf die Netzhautfarbe wirken.

Von sehr bedeutendem Einflusse auf die Zersetzungstemperatur sind Zusätze von Alkalien und Säuren und zwar von solchen, welche bei niederen Temperaturen den Purpur nicht verändern.

Wurde zu ½procentiger NaCl-Lösung 1 p. Ct. trockener Soda gesetzt und auf 60° C. erhitzt, so erblich eine Retina darin schon in 6 Min., bei einem Sodagehalte von 4 p. Ct. in 4 Min., ebenso schnell, wenn die Salzlösung 5 p. Ct. lufttrockenen kohlensauren Ammoniaks enthielt. In der letzteren Mischung wurde die Netzhaut bei 55° C. in 20 Minuten farblos, bei 47° C. in 90 Min. chamois, in 3 Stunden entfärbt. Lösungen, welchen 5 Vol. p. Ct. starken Ammoniaks zugesetzt waren, entfärbten sich bei 65° C. in 2 Min., bei 47° C. in 1 Stunde.

Digitized by Google

Die NaCl-Lösung mit 1 p. Ct. Essigsäure angesäuert, färbte die Retina bei 47° C. in 20 Min. gelb, ebenso mit 2 p. Ct. der Säure und derselben Temperatur in 10 Min., bei 55° C. in 5 Min., bei 60° C. in 2 Min., bei 65° C. in 2 Min. weiss.

In ganz ähnlicher Weise wurden durch die genannten Zusätze die Zersetzungstemperaturen der Purpurlösung beeinflusst.

Die schon genannte Lösung von 2 p. Ct. Galle mit dem gleichen Volum Sodalösung von 4 p. Ct. versetzt, also auf 1 p. Ct. Galle und 2 p. Ct. Soda gebracht, wurde bei 60° C. in 2 Min., bei 47° C. in 5 Min., bei 45° C. in 10 Min. gänzlich entfärbt. Durch Verdünnen auf 1 p. Ct. Soda gebracht, wurde sie bei 50° C. in 5 Min. entfärbt. Zusatz einer sehr kleinen Menge NH_3 zur ursprünglichen Purpurlösung, so dass sie gerade deutlich darnach roch, bewirkte, dass sie bei 53° C. in 2 Min. entfärbt, bei 44° C. in 30 Min. hell lila wurde. Durch grössere Mengen NH_3 schien die überhaupt noch wirksame Temperatur nicht unter 40° C. herabgedrückt zu werden.

Eine Probe der Purpurlösung mit so viel verdünnter Essigsäure versetzt, dass sie gerade anfing, durch ausgeschiedene Gallensäuren opalescent zu werden, jedoch bei Zimmertemperatur unveränderlich in der Farbe blieb, wurde bei 53° C. augenblicklich, bei 42° C. in 5 Min. ganz farblos.

Der Gang der Farbenänderung beim Erwärmen zeigt unzweideutig, dass da dieselben Zersetzungsprodukte, wie beim Belichten aus dem Purpur entstehen, denn es geht auch hier, wenn der Vorgang langsam genug verläuft, die Farbe erst durch Gelb zum Weiss und dies hat dieselben Zwischenfarben von reinem Roth durch Orange und Chamois zur Folge, welche schon so oft erwähnt wurden. Wie beim Belichten ist die gelbe Farbe weniger auffällig in der Purpurlösung, als an der Netzhaut, aber hier, wie dort ist es das Sehgelb, das sich überall relativ schnell, auch

Digitized by Google

bei den niederen Temperaturen, bildet und welches die längere Zeit erfordert, um ganz zersetzt zu werden, bis nichts Farbiges übrig bleibt. Wie wir nur unter gewissen Umständen durch Licht ausschliesslich Sehgelb ohne Sehweiss zu erzeugen vermochten, so gelang es auch durch Erwärmen nicht, Retinae in den Zustand zu bringen, wo die Fluorescenz erloschen gewesen wäre. Indess haben wir noch keine Gelegenheit gefunden, festzustellen, ob durch totale Wärmebleichung die Fluorescenzerscheinungen der vollendeten Lichtbleiche erzeugt werden können. Wenige Versuche, zu denen uns der Sonnenschein bis jetzt kommen gelassen, welche mit 70° C. begonnen wurden, scheinen anzudeuten, dass die Fluorescenz ganz verloren geht, so dass das Sehweiss als in dieser höheren Temperatur ebenfalls zersetzlich anzusehen wäre.

Im Anschlusse hieran wurde beachtet, wie Erwärmen bei Entziehung des Wassers wirkt. Auf Glasplättchen angetrocknete Netzhäute vom Frosche neben wasserfreier Phosphorsäure eingeschlossen, zu entfärben, gelang bei 100° C. in mehreren Stunden nicht; die Präparate wurden nur orange, höchstens gelb, blichen aber wieder befeuchtet am Lichte in einigen Stunden, trocken erhalten nach einigen Tagen vollkommen aus. Als wir die trockenen Membranen von 50° C. an aufwärts bis auf 75° C. erhitzten, um den Einfluss der Abwesenheit des Wassers auf die Zersetzungstemperatur überhaupt kennen zu lernen, stellte sich heraus, dass der Purpur erst bei etwa 70° C. anfing verändert zu werden; nach 10 Min. war das Umschlagen zu reinem Roth, nach 1 Stunde das Auftreten von Orange bemerklich, doch können wir keine recht bestimmten Angaben über Grenztemperaturen machen, weil es ungemein schwierig ist, die so langsam und mit wenig verschiedenen Nuancen charakterisirte Aenderung an dem gerunzelten Objecte deutlich zu erkennen. Mit den Glasplättchen in absolutes Glycerin versenkt, zeigten die Retinae bei 65° C.

Digitized by Google

in 2—3 Stunden keine Veränderung; bei 75° wurden sie darin nach 30 Min. fast farblos.

Tagelang in gesättigter NaCl-Lösung gehaltene Netzhäute, in demselben Medium erwärmt, zeigten bei 65° C. nach 30 Min. die erste Veränderung, wurden nach 40 Min. chamois, nach 50 Min. heller, nach 60 Min. noch heller chamois bis gelb, nach $1^1/_2$ Stunden ganz farblos. Bei 75° C. trat die erste Farbenänderung in 5 Min., bei 80° C. in 4 Min. ein. In 6 Min. ging die Farbe bei 80° C. in Gelb über, in 8—10 Min. zu Weiss. Es giebt hier also ähnliche Verlangsamungen, wie beim Belichten gesalzener Netzhäute.

Durch Erwärmen gelb oder farblos gewordene Netzhäute und Purpurlösungen nehmen im Dunkeln kühl gehalten niemals wieder Färbung an.

Bei 45° C. wird die Netzhaut des Frosches ohne Farbenänderung der Stäbchen schnell weisslich und viel undurchsichtiger als durch Absterben bei Zimmertemperatur. Es bleibt zu untersuchen, in welchen Schichten und Geweben diese der Wärmestarre entsprechende Veränderung vor sich geht.

Vom Einflusse der Temperatur auf die Lichtbleiche.

Unter 0° liegende Temperaturen scheinen nur Einfluss auf die Bleichungszeiten der Froschnetzhaut im Lichte zu haben, wenn die Gewebssäfte gefrieren. In diesem an der weisslichen Rosafarbe gleich zu erkennenden Zustande sahen wir die Farbe noch etwas langsamer als an in gesättigter Salzlösung gehaltenen Präparaten durch Sonnenlicht verschwinden. Nach dem Aufthauen, während die Temperatur auch im Präparate sicher noch unter 0° stand, konnten wir keine wesentliche Verlangsamung der Lichtwirkung gegenüber der in Zimmertemperatur gewöhnlich stattfindenden wahrnehmen. Einige Versuche der Art wurden mit dem Sonnenspectrum angestellt, und zwar so, dass das von

Digitized by Google

einem Metallspiegel nach abwärts reflectirte Spectrum zur Hälfte seiner Breite auf eine mattweisse silberne Rinne fiel, die auf einer Kältemischung stand, zur andern Hälfte auf einen Porzellanstreif, der über ein Gefäss mit Wasser von 30° C. gelegt worden. Wenn die am Boden der Silberrinne angefrorene Netzhautreihe wieder so weit aufgethaut war, dass die Membranen durchsichtig und feucht schienen, während ein nebengesetzter Wassertropfen noch anfror, beobachteten wir keine regelmässigen zeitlichen Unterschiede der Ausbleichung in den einzelnen Spectralfarben zwischen diesen Membranen und den auf der Porzellanplatte ausgebreiteten.

Wesentlich anders gestalteten sich die Bleichungszeiten für höhere Temperaturen, und hier musste man vor Allem wissen, ob sich Unterschiede ergäben für die unter Homöothermen und Poikilothermen gewöhnlich vorhandenen Temperaturdifferenzen. Zu dem Ende befestigten wir wieder Froschnetzhäute mit der Aussenfläche gegen die innere Wand kleiner feuchter Röhrchen, verschlossen diese und versenkten sie unter Führung an durch den Kork gesteckten Glasstäben in grosse Bechergläser mit verschieden temperirtem Wasser. Vor dem Belichten wurden die Röhrchen so lange eingetaucht erhalten, dass auf Gleichheit der Temperatur des Präparates mit der des Bades zu rechnen war. Die Beleuchtung geschah durch stark gedämpftes Tageslicht, das man plötzlich durch Oeffnen einer kleinen Klappe im Fensterladen in's Dunkelzimmer treten liess. Um gleicher Belichtungen bei den Präparaten sicher zu sein, wurden die Versuche durch Vertauschen des Platzes der Gläser controlirt.

Wir fanden so bei 40° C. auf der einen, 10° C. auf der andern Seite, die wärmere Netzhaut nach 1 Min. etwas weiter in der Bleichung vorgeschritten, gelber als die andere, welche noch recht orange aussah; nach 3 Min. war die Differenz grösser, indem die erste blass strohgelb, die zweite noch chamois gefärbt

Digitized by Google

war. Erst nach 10 Min. waren beide vollkommen entfärbt, aber es war während dieser langen Zeit immer zu bemerken, dass die wärmere Netzhaut der Ausbleichung näher war. Wir haben nach vielfacher Wiederholung des Versuches keinen Zweifel an der Constanz der Unterschiede.

Für Temperaturen von 37°, 37,5° und 38° C. gegen 10—12° C., auf welche es am meisten ankam, können wir die grössere Lichtempfindlichkeit den wärmeren Netzhäuten nicht entfernt mit der Bestimmtheit zuschreiben, wie für 40° C. Wohl hat uns, was wir sahen, im Allgemeinen den Eindruck hinterlassen, dass die Bluttemperaturen die Lichtbleiche etwas beschleunigen, indem namentlich der Umschlag des Purpurs in Roth oder Orange bei 10° C. langsamer erfolgte, ja wir glauben solche Unterschiede für 10—12° und 35° C. noch zugeben zu dürfen. Auffällig sind die Differenzen aber nicht, bei sehr schwachem Lichte nach 10 bis 20 Sec. höchstens zu bemessen und hinsichtlich der totalen Entfärbung erhielten wir zuweilen selbst umgekehrte Resultate. Oben wurde schon bemerkt, dass Erwärmen die fortschreitende Indolenz des Sehgelbs begünstigt, und diess bildet eben für alle dem ersten Farbenwechsel folgende Stadien ein störendes Moment. In einem bei 40° C. angestellten Versuche wurde dieser Uebelstand so zu umgehen versucht, dass erst beide Netzhäute im Dunkeln etwa 20 Min. bei der höheren Temperatur gehalten und dem Lichte ausgesetzt wurden, als die eine auf 12° C. wieder abgekühlt war. Jetzt wurde die warme nach 30 Sec. gelb, während die andere noch gelborange war; nach 5 Min. war die erstere blass strohgelb, die kalte chamois und erst nach 8 Min. waren beide gleich, d. h. nahezu farblos. Besondere Undurchsichtigkeit hatte diese Erwärmung an den Präparaten nicht erzeugt.

Um die Entstehung des indolenten Farbstoffes oder die Fixirung des Sehgelbs ganz zu vermeiden, nahmen wir an Stelle der Netzhaut die Lösungen des Sehpurpurs in 2procentiger Galle.

Digitized by Google

Bei 40° und 10° C. war der Farben-Unterschied alsbald ausgeprägt, nach 90 Sec. höchst auffallend und nach 5 Min. noch vorhanden, indem die warme Probe kaum gelblich, die kältere deutlich chamois erschien. Bei 38° C. gegen 10° C. und ebenso langsam wirkendem Lichte war gleichsinnige Differenz auch noch im Anfangsstadium zu bemerken, am deutlichsten jedoch zur Zeit des Ueberganges vom Gelb zur Farblosigkeit. Die letztere Beobachtung veranlasste uns am meisten das schnellere Reagiren der Netzhautfarbe lebender Warmblüter in noch andern Gründen, als in der Bluttemperatur an sich zu suchen (vergl. d. vor. Cap.).

Je weniger ins Auge fallende Unterschiede die genannten sehr bedeutenden Temperaturdifferenzen für die Purpurbleiche im Lichte ergeben hatten, um so mehr musste die erstaunliche Steigerung der Lichtempfindlichkeit überraschen, welche bei sehr geringen Differenzen durch Annäherung an die Zersetzungstemperatur gefunden wurde. Diese Zunahme ist so bedeutend, dass mittelst derselben aus Sehpurpur vermuthlich das feinste Reagens auf Licht, das es überhaupt geben kann, herzustellen sein wird. Die folgenden dies belegenden Versuche wurden alle mit vorher im Dunkeln gleichmässig erwärmten Präparaten ausgeführt, von denen jedesmal das eine abgekühlt worden, während das andere auf der gewünschten Temperatur blieb, wenn das Licht zutrat. Nur die erste Beobachtung, welche uns das Opakwerden der Froschnetzhaut bei 45° C. beachten lehrte, was Unterschiede in der Lichtbleiche zur Folge haben konnte, insofern die weisse Retina zum Reflector der zum Lichte gewendeten Stäbchenschicht zu werden vermag, war ohne die genannte Vorsicht gewonnen. Was es da zu sehen gab, war aber so auffallend, dass wir sogleich wussten, hier könne weder innere Lichtreflexion, noch das verschiedene Aussehen opaker und durchsichtiger Farbenflächen wesentlich sein. Die eine Retina war während der Belichtung wegen der noch unvollkommenen Ein-

Digitized by Google

richtungen von 49° C. auf 43° C. abgekühlt, die andere constant bei 11° C. erhalten. In dem stark gedämpften Lichte zeigte sich die erwärmte nach 4 Min. total ausgeblichen, während die andere nach 5 Min. noch rothorange, nach 10 Min. intensiv chamois, nach 25 Min. noch hellgelb aussah.

An vorher zusammen erwärmten, aber zur möglichsten Vermeidung des Indolentwerdens nachträglich gebildeten Sehgelbs nur kurze Zeit der höheren Temperatur ausgesetzten Präparaten beobachteten wir Folgendes:

Netzhaut.

1 { A. bei 45° C. in 4 Min. entfärbt.
  { B. — 12° C. „ 12 „ noch hell chamois.

2 { A. — 50° C. „ 1 „ ganz entfärbt.
  { B. — 12° C. „ 1 „ orange, in 10—12 Min. ganz entfärbt.

3 { A. — 50° C. „ 40 Sec. gänzlich gebleicht.
  { B. — 11° C. „ 1 Min. chamois, in 3 Min. farblos.

4 { A. — 50° C. „ 30 Sec. vollkommen entfärbt.
  { B. — 12° C. „ 12 Min. entfärbt.

Selbstverständlich sind nur A. und B. derselben Ziffer zu vergleichen, da die Lichtintensität von einem Paare zum andern ungefähr in dem Grade schwankte, wie es aus den zeitlichen Verschiedenheiten bei derselben Temperatur ersichtlich ist. Wir konnten nur auf das halten, was wesentlich und leidlich erreichbar war, nämlich dass die Intensität in der kurzen Zeit des Einzelversuches keine grösseren Schwankungen erlitt, indem wir nur bei stark und gleichmässig bezogenem Himmel arbeiteten.

Sehpurpurlösung in 2 pctg. Galle zur einen Hälfte bei 50° C., zur andern bei 12° C. exponirt, wurde in der ersteren in 30 Sec. vollständig entfärbt, in der letzteren nach 11 Min.

Soweit sich darüber urtheilen liess, beginnt die grosse Zunahme der Lichtempfindlichkeit des Purpurs etwa bei 45° C. und steigt in dem Maasse mit der Temperatur, wie diese der

Digitized by Google

Grenze zugeht, über welche hinaus Erwärmung an sich, also im Dunkeln die Zersetzung einleitet. Wir haben nur bis zu diesem Punkte genauere Versuche gemacht, denn es war uns aus den früheren Erfahrungen bekannt, mit welcher unglaublichen Geschwindigkeit die Retina und die Purpurlösung in stark gedämpftem Lichte verändert werden, wenn man denselben überschreitet. Begreiflich liegt darin eine unwillkommene Schwierigkeit der Temperaturversuche überhaupt und Anlass zu grosser Eile beim Besehen der Präparate, das keine zu geringe Lichtstärke erlaubt, wenn nicht Lichtwirkung für die der Temperatur gehalten werden soll. Einmal damit bekannt, haben wir die Schwierigkeit natürlich umgangen, indem wir die Objecte vor dem Besehen erst wieder abkühlten, wo die Erwärmung im Dunkeln keine allzuschnelle Veränderung voraussetzen liess.

Von den chemischen Mitteln, welche Sehpurpur für niederere Temperaturen zersetzlich machen, wurde besonders NH_3 benutzt. Pupurlösung mit so viel NH_3 versetzt, dass sie gerade deutlich Geruch darnach angenommen hatte, wurde z. B. bei 38° C. in 20 Sec. gänzlich entfärbt, während eine abgesonderte in demselben Lichte bei 10° C. gehaltene Probe erst nach 30 Sec. die Anfangsänderung, nach 90 Sec. Uebergang zu Chamois zeigte, und 4 Min. zur Entfärbung bedurfte. Lösungen mit grösserem NH_3-Gehalte wurden bei 40° C. in sehr schwachem Lichte augenblicklich blassgelb, fast farblos, bei 10° C. erst in 60 Sec. gelb und in 5 Min. entfärbt. Hier ist daran zu erinnern, dass ammoniakalische Purpurlösungen im Dunkeln unter 44° C. nicht zersetzlich sind und dass der Zusatz in der Kälte sogar langsameres Bleichen der Netzhautfarbe durch Licht bedingt.

Die sonnenarme Jahreszeit verbot bis jetzt von der Empfindlichkeitssteigerung durch Erwärmen ausgedehnteren Gebrauch zu machen und das vor Allem wissenswerthe Verhalten erwärmter Netzhäute und Purpurproben im wenigst wirksamen

Digitized by Google

rothen Lichte genauer zu untersuchen. Bei einem Spectralversuche, der am 28. Nov. 12 Uhr mit guter Sonne anzustellen war, sahen wir auf 50°C. erhaltene Retinae im Gelbgrün nach 7 Min. ausbleichen, während dasselbe Licht auf Präparate von etwa 12° C. erst in 20 Min. wirkte. Ein im Roth von C liegendes Präparat zeigte sich innerhalb dieser Zeit so wenig verändert, wie eins, das zur Controle in dem dunkel gebliebenen Theile der Röhre, worin alle erwärmt wurden, lag. Dies spricht nicht grade für Steigerung der Lichtempfindlichkeit im Roth, doch wird darüber erst nach eingehenderen Beobachtungen und Heranziehung von Erwärmungen, welche die Zersetzungstemperatur überschreiten, zu entscheiden sein.

Es bedarf der Erwähnung kaum, welche grossen zeitlichen Unterschiede der Lichtbleiche herzustellen sind bei kleinen Temperaturdifferenzen, wenn man die letzteren an eine passende Stelle, z. B. von 44°—46° oder — 50° C. legt.

Chemische Einflüsse auf die Lichtbleiche.

An dieser Stelle wird passend noch über Ausbleichungsversuche mit dem Lichte unter einigen chemischen Einflüssen berichtet. Dieselben waren der einfachsten Art und können nur den Anfang weiterer in der Richtung zu unternehmender Untersuchungen darstellen, welche besonders festzustellen hätten, ob Reagentien, die in gewissen Concentrationen die Netzhaut im Dunkeln entfärben, es mit der Hülfe des Lichts schneller thun oder in an sich unschädlicher Concentration den Purpur lichtempfindlicher machen. Wir hatten Gelegenheit einen dahin zielenden Versuch mit dem Sonnenspectrum zu machen, als wir die Frage mit der Essigsäure begannen. Die Säure von $^1/_2$ bis 1 pCt. veränderte die Netzhaut im Dunkeln nur, indem sie das Gewebe weniger durchsichtig machte und den Purpur vielleicht erst in grosser absoluter Menge nach einigen Tagen verfärbt

Digitized by Google

hätte. Eine Reihe damit gesäuerter Retinae wurde auf einer Porzellanplatte neben einer andern Reihe mit Soda von 2 pCt. getränkter in das Spectrum gelegt und es fand sich, dass die Zeit, welche die Lichtwirkung in den einzelnen Farben in Anspruch nahm, auf der alkalischen Seite im Allgemeinen dieselbe war, wie auf der sauren; es gab aber einen auffallenden, das letzte Stadium der Bleichung betreffenden Unterschied, indem nämlich die gesäuerten Netzhäute im Gelbgrün bis Grün noch lange intensiv gelb blieben, als die alkalischen dort schon farblos waren und sich im Blau und Violet bereits entfärbt zeigten, als die alkalischen in diesem Spectraltheile noch hell chamois oder lila waren. Das sieht ganz so aus, wie wenn das Sehgelb, dessen Bildung die Essigsäure im Dunkeln einleitet und bei grösserer Concentration schnell hervorruft, wenigstens im blauen Lichte schneller auftritt unter Mitwirkung der Säure. Bemerkenswerth bleibt daneben die geringere Wirkung, welche gelbgrünes und grünes Licht auf dieses Sehgelb ausüben, und die Geschwindigkeit, womit es im blauen Licht verschwindet. Man hat hier also das Verhalten des Sehgelb reiner vor sich, wie gewöhnlich, wo es im Gange der Ausbleichung länger mit unzersetztem Purpur gemischt bleibt.

Eine Netzhautreihe, in einer Glasröhre längere Zeit im feuchten Kohlensäurestrome gehalten, zeigte nichts der Art und kein anderes Verhalten zu den Spectralfarben, wie in atmosphärischer Luft gehaltene.

Schliesslich wäre noch die Frage zu berühren, ob der Sauerstoff an der photochemischen Zersetzung des Sehpurpurs betheiligt ist oder nicht. Wenn man erwägt, wie wenig Purpur eine Froschnetzhaut vermuthlich enthalten kann und welche Spur von O nur anwesend zu sein braucht, auch wenn auf seine Gegenwart etwas ankommt, wird man davon abstehen, den atmosphärischen O durch Verdrängung mit CO_2, H oder N ent-

Digitized by Google

fernen zu wollen. Wir meinen aber auf anderem Wege die Betheiligung des O schon ausgeschlossen zu haben, als wir von der Lichtbleiche in Schwefelwasserstoffwasser und in Schwefelammonium berichteten. Um die Frage abschliessend zu erledigen, haben wir die Versuche mit verdünntem, von SH_2 vollkommen gesättigtem NH_3 wiederholt, und die Retina mit der Lösung in kleinen Fläschchen, deren Glaspfropf sehr vollkommen eingeschliffen, ohne Luftblase 24 Stunden im Dunkeln gehalten. Darauf im Fläschchen ans Licht gebracht, blich sie in derselben Zeit und in derselben Weise aus, wie eine unter denselben Verhältnissen in ebenso verdünntem NH_3 (ohne SH_2) gehaltene, unter Zutritt von Luft. Endlich haben wir den Versuch in einer klaren und farblosen Mischung von Zinnchlorür, Weinsteinsäure und überschüssigem NH_3 angestellt, was am Gange der Lichtbleiche auch keine Aenderung erzeugte.

Die einzige Ansicht, welche wir uns bis jetzt von dem photochemischen Zersetzungsprocesse des Sehpurpurs zu bilden vermögen, ist die, dass er in einer Wasserentziehung bestehe. Manche der von uns gefundenen Thatsachen scheinen dem freilich zu widersprechen, vor Allem die ausserordentliche Verlangsamung des Bleichens in Abwesenheit von Wasser. Es giebt aber eine Thatsache, welche uns stark dafür zu sprechen scheint: über Schwefelsäure oder über wasserfreier Phosphorsäure im Vacuum gänzlich getrocknete, jedoch noch rein purpurfarbene Netzhäute werden in absolutem Glycerin aufbewahrt, nach 24 Stunden etwa, unter strengstem Lichtschutze orangeroth, einige Tage später gelborange, noch später gelb, nach Wochen blassgelb. Auffallender ist die Veränderung an dem ebenso im Vacuum erhaltenen ganz getrockneten Rückstande von Purpurcholatlösungen, der für sich beliebig lange aufzubewahren ist, ohne an der purpurnen Nuance zu verlieren. Wird derselbe mit krystallisirendem Glycerin übergossen im Dunkeln über SH_2O_4

Digitized by Google

aufbewahrt und von Zeit zu Zeit mit einem Platindraht aufgerührt, so quillt er etwas an, setzt sich aber stets wieder zu Boden. Wir haben auch vergeblich versucht ihn dadurch in Lösung zu bringen, dass wir eine durch wochenlanges Stehen absoluten Glycerins über vollkommen getrockneter krystallisirter Galle bereitete, wasserfreie Gallenlösung, die sich so herstellen lässt, damit mischten und lange über SH_2O_4 darauf wirken liessen. Die glasigen Klumpen am Boden waren anfangs schön rosenfarben, wurden aber nach und nach immer mehr gelb, nach etwa 3 Wochen hellgelb, in welchem Zustande wir sie noch 2 Monate später erhalten fanden. An's Licht gesetzt, verloren sie nach einigen Tagen auch diese Farbe[1]). Da man an der im Glycerin liegenden

---

[1]) Es ist hier angenommen, dass die Entfärbung des Purpurs auf Entziehung des zur Constitution des Farbstoffes gehörigen Wassers durch die Wasseranziehung seitens des absoluten Glycerins beruhe. Wie hygroskopisch solches Glycerin sei, ist bekannt und lehrt jeder Wägungsversuch: man muss damit umgehen, wie mit Schwefelsäure. Ausserdem zeigt es einem anderen Körper gegenüber ein Verhalten, dessen Analogie mit dem zum Sehpurpur unverkennbar ist, ich meine das Eiweiss.

Es giebt manche gute Gründe für die von Vielen getheilte Meinung, dass coagulirtes Albumin das Anhydrid des coagulabelen, die Coagulation eine Wasserentziehung sei. Ich habe Eierweiss mit gerade so viel Weinsteinsäure versetzt, dass eine Probe durch Sieden vollkommen coagulirte, die klare Lösung bei 40° C. eingedampft, den Rückstand gepulvert über SH_2O_4 im Vacuum so lange getrocknet, bis er keinen Gewichtsverlust mehr erlitt, und dieses Albumin nach längerem Stehen in absolutem Glycerin löslich gefunden. Unter der Exsiccatorglocke gelang es davon in einigen Wochen eine klare Lösung vom Aussehen des besten Canadabalsams zu filtriren. Eine Probe davon in siedendes Wasser getaucht wurde fest und undurchsichtig weiss; das Eiweiss coagulirte indess anscheinend langsamer, als in wässriger Lösung. Vollkommen verschlossene Proben der nicht erwärmten Lösung wurden nach und nach immer trüber und steifer und sind jetzt nach $2^1/_2$ Jahren fast so fest und opak, wie die der Siedhitze ausgesetzten.

Mir scheint, dass auch die allmählige Zersetzung des Sehpurpurs beim Erwärmen und die plötzliche Entfärbung bei 74° C. gewisse Analogieen mit der Eiweisscoagulation bietet, ebenso die partielle oder langsame Veränderlichkeit des trockenen Farbstoffes bei 100° C., mit der unvollkommenen Coagulation des trockenen Albumins bei höherer Temperatur. *W. K.*

Digitized by Google

Retina gegen die Beobachtung misstrauisch wird, weil die dünne farbige Membran darin fast bis zum Verschwinden durchsichtig wird, ist auf die Erscheinung am Purpur selbst besonderes Gewicht zu legen. Das uns von dem Fabrikanten Herrn *Sarg* in Wien freundlichst geschenkte Glycerin bestand noch bei einigen Graden über 0° aus den schönsten, zolllangen Krystallen und erwies sich nach dem Verdünnen so unschädlich für Sehpurpur, dass wir es mit Vortheil zum Conserviren der sonst ausserordentlich fäulnissfähigen Purpurlösung benutzten. Ein gesättigtes Netzhautextract mit 5procentiger Galle bereitet, im Vacuum auf etwa $^1/_4$ concentrirt und mit dem Glycerin wieder aufgefüllt, giebt den herrlichsten Purpurlack, dessen Lichtempfindlichkeit man fast bedauern möchte.

Sehpurpur in der für chemische Untersuchungen nöthigen Menge zu gewinnen wird zwar sehr schwer halten und ungewöhnliche Opfer, freilich nur manueller Arbeit, kosten, scheint uns aber nicht unmöglich, denn es giebt eine Eigenschaft des Körpers, welche Aussichten auf seine Reinigung eröffnet. Der Sehpurpur ist nicht diffusibel.

Wir haben die Purpurlösung in kleine Dialysoren aus vegetabilischem Pergament gefüllt auf einige Cub.-Cent. Wasser oder farblose Galle gesetzt, diese nach mehrtägigem Stehen im Vacuum concentrirt und daran niemals Färbung beobachtet, während dieselbe über der Membran erhalten blieb. Wurden die Dialysoren in grosse Mengen zuweilen erneuerten Wassers getaucht, so verlor die Purpurlösung allen Geschmack nach Galle, und dieselbe fand sich in der dialysirten Flüssigkeit, wo sie leicht nachzuweisen war. In dem Maasse, wie dem Purpur die Galle entzogen wurde, trübte sich die Lösung von myelinartigen Ausscheidungen, ohne jedoch einen gefärbten Bodensatz zu geben.

Digitized by Google

Wir haben diese Flüssigkeiten bis heute nicht frei von Bacterien erhalten können. Im Vacuum verdunstet und wieder mit Wasser versetzt, bildete der Rückstand ein gallertiges, purpurfarbenes Magma, von welchem nur ungefärbte Filtrate zu gewinnen waren. Diese Masse dürfte als Material zur weiteren Reinigung des Purpurs zu benutzen sein, indem man die darin enthaltenen Albumine erst mit einer Spur Trypsin zu verdauen, die Verdauungsprodukte fort zu dialysiren und das Cerebrin nebst anderen dem sog. Myelin zugehörigen Stoffen mit Benzol zu entfernen hätte. Was dann übrig bleibt, müsste der Sehpurpur, mit einer Spur des verwendeten Trypsins verunreinigt, sein. Da die Netzhaut des Pferdes nach *H. Müller* u. *R. Berlin* (klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XV. Beilage-Heft S. 4) nur im nächsten Umkreise der Papille Gefässe und Blut enthält, würde sich die Einrichtung eines Dunkelzimmers, worin nur die Purpurcholatlösung anzufertigen wäre, in der Nähe einer Pferdeschlächterei lohnen.

Nachträge zu den Abhandlungen über Sehpurpur.

Von **W. Kühne.**

Zu S. 31. Das Vorkommen des Sehpurpurs in der Thierreihe betr.

Die Netzhaut eines fusslangen, sehr munteren Petromyzon fluviatilis, der einige Stunden im Dunkeln gehalten war, zeigte dieselbe auffallend schwache Purpurfärbung, wie die des früher untersuchten, abgestorbenen Exemplars. Der Purpur ist hier also auch in normalen Verhältnissen entweder in sehr geringer Menge in den Stäbchen enthalten, oder es gibt ausser denselben andere, purpurfreie, vermuthlich den Zapfen zuzurechnende Elemente. Das etwas gesprenkelte Aussehen der Hinterfläche sprach für das Letztere, aber es konnte darüber bei dem ausserordent-

Digitized by Google

lich schnellen Abblassen der Farbe nicht entschieden werden. Trotz der geringen Sättigung des Purpurs war dessen stark zum Violet oder Bläulichen neigende Nuance auffällig. Im Lichte ging diese in Gelb über, das einige Minuten später gänzlich schwand.

Es ist bis heute unbekannt, ob wirklicher Sehpurpur bei Wirbellosen vorkommt. Die Beobachter der Cephalopoden- und Arthropodenretina beschreiben zwar die Färbung der Sehstäbe als vergänglich; es wird aber nirgends gesagt, ob das Licht Antheil daran habe, noch ob das Absterben und Faulen oder die Conservirungsflüssigkeit sie erst vernichteten. Nach den Beobachtungen am Krebsauge (S. 121) wird es sehr wahrscheinlich, dass die Farbe der Sehstäbe bei den Avertebraten im Allgemeinen lichtbeständig, also kein Sehpurpur ist; doch wird man sich, bis weitere Untersuchungen darüber vorliegen, noch des Nachdenkens über die Coëxistenz von Blutroth und Sehpurpur enthalten können.

Zu S. 393. Unterschiede des Sehpurpurs vom Kaninchen und vom Frosche betr.

Eine aus 4 frischen Kaninchennetzhäuten, mit Ausschluss des die Gefässe führenden Streifens, wo die markhaltigen Nerven liegen, in 1 Cub.-Cent. Galle von 2 pCt. bereitete Sehpurpurlösung erwies sich bei Körpertemperatur bedeutend lichtempfindlicher, als bei 7,5° C. Die Temperatur sank während des Versuchs von 38,5° C. bis 35° C. Dennoch wurde die Lösung in dem sehr gedämpften Lichte, das durch eine kleine mattverglaste Oeffnung aus grösserer Entfernung einfiel, schon in 10 Secunden sehr blass, in 20—25 Sec. hellgelb, in $2^1/_2$ Min. ganz farblos, während die daneben in demselben Lichte bei 7,5° C. aufgestellte erst nach 2 Min. hellrosa, nach $2^1/_2$ Min. gelblich und in $3^1/_2$ Min. farblos wurde.

Hiernach ist kaum mehr zu bezweifeln, dass der Sehpurpur des Frosches und des Kaninchens verschiedene chemische Körper sind.

Digitized by Google

Beim Erwärmen ohne Licht verhält sich die vom Kaninchen erhaltene Purpurlösung auch nicht ganz so, wie die vom Frosche.

Erstere Lösung (in 5 pCt. Galle) wurde

bei 64° C. in 1 Min. hellgelblich,
„ 61° „ „ 2 „ „ „
„ 58° „ „ 4 „ „ „
„ 55° „ „ 5 „ nicht verändert.

Licht entfärbte diese Lösung, die eine Spur Hämoglobin zu enthalten schien, nicht vollkommen.

Eine andere mit 2,5procentiger Galle dargestellte Lösung aus Kaninchennetzhäuten wurde

bei 62° C. in $2^1/_2$ Min. entfärbt,
„ 60° „ „ 5 „ „ „
„ 58° „ „ 4 „ chamois bis rosa.

Zum Vergleiche hergestellte Purpurlösung vom Frosche, deren Farbe möglichst auf dieselbe Sättigung gebracht worden, sah nach 5 Min. langem Erwärmen auf 63° C. noch chamois aus.

Zu S. 32, 105, 109, 177. Den Sehpurpur des Menschen betr.

Aus nicht publicirten Mittheilungen mehrerer Augenärzte entnehme ich, dass anscheinende Abwesenheit des Sehpurpurs an soeben vom Lebenden enucleïrten (Dunkel-)Augen öfter bemerkt worden ist. Wenn über solche Fälle nichts an die Oeffentlichkeit kam und kommen wird, so liegt dies an der sehr gerechtfertigten Vorsicht und Gewissenhaftigkeit der Beobachter, die einerseits der normalen Beschaffenheit der betr. Netzhäute, andererseits der beim Loslösen der Membran vom pigmentirten Augengrunde befolgten Technik misstrauten. Wenn ich mich erinnere, wie absolut unmöglich es war, die Retina aus dem noch warmen Auge des Affen mit einiger Aussicht auf unbeschädigte Stücke herauszunehmen, so wird es mir wahrscheinlich, dass die Präparation am menschlichen Auge, so lange es noch recht frisch

Digitized by Google

ist, in vielen Fällen misslingen muss. Es sollte darum kein Beobachter, der damit zum Ziele kommt, versäumen, anzugeben, ob das, was loszulösen gelang, auch in normaler Weise mit den Aussengliedern der Stäbchen besetzt gewesen sei, wenn er die Abwesenheit des Sehpurpurs im Dunkelauge als erwiesen angenommen wissen will. Ich selbst war noch nicht in der Lage, lebenswarme Augen vom Menschen zu untersuchen und habe daher zufällig das günstigere Material verwendet, indem ich nach Conservirung des abgestorbenen Auges in Eis an die Beobachtung ging. Andere, wie *Donders*, haben sich mit Erfolg meines Verfahrens das Auge in Alaun zu legen, bedient, das mir indess der Kostbarkeit des Materials nicht angemessen scheint, da man sich damit des Vortheils mancher weiterer Beobachtung begiebt. Ich würde vorschlagen, das Auge einige Stunden in den Eiskasten zu legen, wenn der erste Versuch, die Retina continuirlich abzulösen, missglückt. Da das Haften des Pigmentepithels an der Stäbchenschicht ohne Frage der Grund der Schwierigkeiten ist, so wird bei der mehr erwähnten bräunlichen Beschaffenheit des menschlichen Sehpurpurs zur Aufklärung des Widerspruches, der darin gegen unsere Beobachtungen liegt, anzugeben sein, ob die bräunlichen Stellen nach dem Zerdrücken kein zwischen die Stäbchen abgeschichtetes Pigment enthielten.

Die Angabe einiger Beobachter (*Horner* u. A.), dass die menschliche Netzhaut unvergleichlich schwächer gefärbt sei, als die des Kaninchens, stimmt im Allgemeinen mit unseren Erfahrungen nicht überein. Ich möchte aber eine Concession machen, welche den Widerspruch lösen kann. Wo viele Stäbchen neben einander liegen, kann man nicht zweifeln, dass die Stäbchenschicht des Menschen tiefer gefärbt, violetter ist, als beim Kaninchen, besonders für den mikroskopischen Anblick; die Membran im Ganzen aber sieht mehr gesprenkelt aus, wenn man es so nennen darf, mehr einem hellen Gewebe ähnlich, worin die

Digitized by Google

dunklere Farbe eingeschossen ist, während sie beim Kaninchen weit homogener ist. Nach eigenen Beobachtungen kann ich z. Z. nicht entscheiden, wie es um die Zapfen beim Kaninchen steht; da aber nicht bezweifelt wird, dass der Mensch unter den Säugern besonders viele Zapfen zwischen den Stäbchen besitzt, muss die intensivere Farbe der letzteren im Ansehen der ganzen Fläche durch die vielen farblosen Zapfen modificirt werden. So sind die von einander abweichenden Angaben verträglich ohne die bedenkliche Meinung zu begünstigen, dass die Stäbchen des Menschen purpurärmer, als die anderer Säuger seien.

Zu S. 32, 35, 105, 109. Das Fehlen des Sehpurpurs in der fovea centralis und in der ora serrata betr.

Diese Beobachtung ist, mir sehr erfreulicher Weise, seither von *Donders* (Beilageheft d. klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XV. Jhrg. S. 156) vollkommen bestätigt, ebenso die Abwesenheit des Sehpurpurs in allen Zapfen; wo die Mittheilung von dem letztern Punkte und den wichtigen daraus gezogenen Folgerungen handelt, ist nicht zu ersehen, dass *Donders* nur über vor ihm von mir Gefundenes und Gesagtes berichtet und es wird die Angabe der Quelle, welche ihn leitete, um so mehr vermisst, als er sich beflissen zeigt, dieselbe bei einer Nebensache (der Verwendung des Alauns) zu nennen.

Zu S. 49 u. A. Die Farbe der Retina, des Sehpurpurs, insbesondere das Chamois betr.

In der Physiologie, wie in der Physik begegnet man der Angabe, die Empfindung, welche das am wenigsten brechbare Licht erzeuge, neige der von dem anderen violetten Ende des Spectrums hervorgerufenen zu, oder wir sähen das Anfangsroth des Spectrums mit purpurner Nuance. In dem Namen Scharlachroth scheint diese Meinung ausdrückliche Bezeichnung zu erhalten. Da meine Empfindung sich in diesem Lichte ebenso frei

Digitized by Google

von der leisesten Purpurnuance weiss, wie die vieler anderer Forscher, kann ich darüber nicht urtheilen, aber ich glaube hervorheben zu dürfen, dass ein Mittel, welches bei zweifelhaftem Roth entscheidet, ob darin Purpur enthalten ist, bei dem ersten sichtbaren Spectralroth fehlschlägt und für Jedermann, den ich darum befragte, fehlschlug.

Abgesehen von der bekannten Unmöglichkeit aus dem äussersten Roth mit Grün, das kein Blaugrün enthält, Weiss zu erzeugen, während Zumischung von Violet, also von Purpur das entstehende Gelbweiss sogleich in reines Weiss verwandelt, muss ich mich auf das Aussehen des Roth vor A und a berufen, welches es in der Mischung mit Weiss annimmt. Wir haben auf ein sehr reines durch Abblendung für sich betrachtetes Anfangsroth, das gerade noch A einschloss, weisses Licht verschiedener Intensität fallen lassen, indem wir von einem zweiten Spalte das Licht eines andern Heliostaten dazu treten liessen. Da der Spiegel dieses Instrumentes aus einer hinten versilberten dicken Glasplatte bestand, warf es eine Anzahl durch Reflexion an den beiden Glasflächen entstandener, sich überschneidender Sonnenbilder von abnehmender Lichtstärke auf den schmalen rothen Streif, der vom Spectrum übrig gelassen war und erzeugte damit eine Reihe der verschiedensten Mischungen von Roth und Weiss. An diesen Abstufungen war nichts als der Uebergang des Roth durch Orange allenfalls zu Gelbweiss zu erkennen, das letztere da, wo am meisten Weiss hinzukam. Ebenso war die Sache, wenn man in irgend einer anderen Art, z. B. mit einer achromatischen Linse das Bild der Sonne oder des zweiten Spaltes zur Spectralfarbe treten liess. Durch Verengen der Spalte, besonders des für das Spectrum dienenden, war es möglich, eine fast unbegrenzte Zahl von Abstufungen dieses Rothweiss zu erhalten, aber es trat darunter niemals eine der Nuancen auf, welche Purpur mit Weiss gemischt gibt, d. h. kein Rosa, Lila oder Chamois.

Digitized by Google

Es ist leider schwierig, das Wort „Chamois“ durch ein anderes zu ersetzen, da der Name in der Färberei und bei Gegenständen, wo die Farbe genannt werden muss, einmal gebräuchlich und in den helleren Nuancen fast ohne Synonym ist. Was ist diese Farbe? Ich meine man wird sie ebenso zu den Farben im physiologischen Sinne rechnen müssen, wie den Purpur und damit eine zweite Farbe aufstellen, welche im Spectrum nicht vorkommt und welche wie der Purpur nur durch Mischung zu erhalten ist. Das Chamois entsteht aus Violet oder Purpur plus Gelb. Da reines (nicht grünliches) Gelb und Violet nicht complementär sind und kein Weiss geben, sondern nur eine weissliche Nuance, so könnte die aus der Mischung resultirende Empfindung, wie die aus Roth mit nicht complementärem (reinem) Grün entstehende gelbweiss, oder wie die aus Cyanblau und reinem Gelb grünlich ist, einer zwischen Gelb und Violet gelegenen Spectralfarbe, mit Weiss verdünnt entsprechen. Das thut sie aber nicht; es ist darin nichts Bläuliches oder Grünliches, weder beim Ueberwiegen der einen noch der andern Componente, sondern der Eindruck ist ein neuer und vielleicht in auffälligerer Weise neuer, als wenn man Roth und Violet mischt: er ist chamois.

Wir haben spectrales Gelb, das freilich sehr schmal ausfällt, wenn man weder grünliche noch orange Tinten darin haben will, mit spectralem Violet gemischt und das weissliche Feld sehr deutlich chamois gefunden, von etwas mehr gelblicher Nuance, wenn wenig Orange hinzukam, weisslicher, wenn der Spalt grünliches Gelb zuliess. Am schönsten erhielten wir das Chamois aus einfarbigen Quellen, wenn wir das durch Abblendung aller anderen Spectralfarben erhaltene Violet im Lichte der Natronflamme besahen und in allen denkbaren Nuancen, wenn dazu noch Weiss verschiedener Intensität aus dem zweiten Spalte kam. So erklärt sich auch das Entstehen von Chamois aus dem Purpur durch Verdünnen mit Weiss, das um so deutlicher wird, je röther

Digitized by Google

der Purpur war, denn das Violet wird dann lila, das Roth gelb, und Lila mischt sich mit Gelb zu hellem Chamois. Purpur aus den beiden Enden des Spectrums zusammengesetzt wurde nach der genannten Methode mit Weiss von verschiedener Intensität gemischt, auch chamois, um so auffälliger, je weniger Violet, oder je gelberes Roth dazu genommen worden. Erst wenn das Roth sehr zurücktrat, was sich durch Verengung des betr. Spaltes am Doppelspalte herstellen liess, oder wenn es das an sich lichtschwache des äussersten rothen Endes war, gab die Zumischung von Weiss reineres Lila. Man sieht hier, welche Macht das Gelb in der Mischfarbe besitzt und wird an den bekannten Versuch erinnert, der das schöne Roth des Quecksilberjodids bei mässigem Tageslicht in Gelb verwandelt, wenn ausserdem Natronlicht darauf fällt.

Helmholtz bezeichnet die Mischung von Gelb und Violet als weissliches Rosa (Physiol. Optik. S. 279), was nach dem oben Gesagten kein Widerspruch mit unserer Ausführung ist, da es von dem Verhältniss oder der Beschaffenheit des Roth in der Mischung mit Violet abhängt, ob der weissliche Purpur (Rosa) mehr in Lila oder in Chamois schlägt. Bei natürlichen Objecten, unter welchen die Rosen, besonders manche Theerosen ein gutes Beispiel sind, zweifelt Keiner, dass es mehr oder minder gelbliche Nuancen des Rosenroth gibt, die man sich durchaus nicht versucht fühlt, deswegen dem reinen Roth zu- und dem Purpur oder Rosenroth abzusprechen. Man geräth da höchstens in Zweifel, wenn die Farben sehr gesättigt sind, während man sie in Mischung mit Weiss auch bei sehr stark gelblicher Nuance niemals Gelbroth sondern gelblichrosa, d. h. chamois nennen wird. Es ist nicht schwer, sich alle diese Nuancen des mehr oder weniger gelben Chamois auf der Farbenscheibe mit Grau gemischt herzustellen, wenn man mit den *Maxwell*'schen Scheiben Violet, Purpur oder Rosa mit gutem Gelb in der verschiedensten Weise zusammenstellt; man kommt da selbst

Digitized by Google

zu einem ganz homogenen Braun, von dem Jeder sagen wird, dass es auch Violet enthalte, ohne das darin enthaltene Gelb verkennen zu können und zu denjenigen Nuancen, welche unter den Interferenzfarben ausser dem Nussbraun, Rothbraun oder Gelbbraun noch als Braun besonderer Art zu unterscheiden sind.

Das Mischen mit Weiss bildet ein gutes Mittel, um zu erkennen, ob in einem Purpur das Roth oder das Violet überwiege und es ist daher von besonderem Interesse zu wissen, dass der Sehpurpur durch Verdünnen nicht chamois, sondern lila wird. Es beweist dies, dass der Sehpurpur relativ geringe Rothempfindung, mehr Violetempfindung erzeugt, was auch in Uebereinstimmung mit seinem Spectralverhalten ist, welches schwache Absorption von Violet und Absorption des Roth von D bis C hin nachweist. Jede im Sehpurpur oder in der Netzhautfarbe durch optische Verdünnung kenntlich zu machende Spur von Chamois bezeugt daher die Zumischung von Sehgelb, also Zersetzung und photochemische Aenderung, wenn andere Einflüsse, als das Licht ausgeschlossen sind. Wird der Sehpurpur roth, so kann dies ferner auch nur an der Entstehung von Sehgelb liegen, und die Farbe würde kein tiefes Roth sein, wenn schon erhebliche Mengen von Sehweiss gebildet wären. Da die Farbe solcher rother Netzhäute mit Weiss gemischt nicht in Gelb, sondern in Chamois umschlägt, so enthalten sie entsprechend der geringen photochemischen Zersetzung, die sie zu erzeugen pflegt, neben wenig Sehgelb, also noch überwiegend unzersetzten Purpur. Es ist daher gänzlich falsch, solche durch Unvorsichtigkeit am Lichte scheinbar roth gewordene Retinae für imprägnirt mit einem rein rothen Farbstoffe zu halten, denn die Verdünnung lehrt, dass sie sogar noch recht reich an gutem Purpur sind[1]).

[1]) Auf Taf. 7 ist der Versuch gemacht die Resultate der in den Abhandlungen ausgeführten spectroskopischen Analyse des Sehpurpurs und des Sehgelbs durch eine die Absorption ausdrückende Curve bildlich darzustellen.

Digitized by Google

Da die Empfindung des Chamois keine gesättigte ist, wie die von den Spectralfarben und dem Purpur erzeugte, insofern die helleren Nuancen immer weisslich sind, die dunkleren nicht anders als mit Grau zur Wahrnehmung kommen, findet sich für sie auf der Farbenscheibe allenfalls noch Platz. Auf der von *Helmholtz* dargestellten Scheibe (Physiol. Optik. S. 282) z. B. wäre das Chamois auf dem mit „Rothweiss" bezeichneten Felde unterzubringen, soweit Purpur + Roth + Orange, hinlänglich mit Weiss gemischt, Anklänge an die Farbe geben. Meine Erwartung, das Chamois auf der *Chevreul*'schen Tafel (Mém. d. l'Acad. d. Sc. XXIII, 1861), deren Construction durch das praktische Bedürfniss der Gobelins veranlasst worden, vertreten zu finden, wurde schon durch die Bemerkung S. 130 der sonderbaren Abhandlung getäuscht, welche die fragliche Farbe zum Orange und Gelborange stellt, ohne des Purpur oder des Violet zu gedenken; auf der Farbenscheibe *Chevreul*'s war mir das Fehlen der Farbe um so auffälliger, als ich mich erinnere, von keiner so erstaunlich feine und zahlreiche Nuancen in den Spulenkästen der berühmten Manufactur gesehen zu haben, wie von dieser. Man braucht übrigens nur an die andere, meist mit fester Farbenclaviatur arbeitende Technik, an die Pastellmalerei und an die grosse Auswahl chamoisfarbener Stifte, deren sie zur Nachahmung der Natur bedarf, zu erinnern, um zu zeigen, wie verbreitet die Farbe ist; sog. Fleischroth und die Fleischtöne fallen zum guten Theile in die Empfindung des Chamois, ebenso die zweifelhaften Nuancen des Isabellgelb, der Nankingfarbe, gewisser Zimmtfarben und des sog. Havannah.

In einer mir kürzlich zugekommenen sog. internationalen Farbenscala von *Radde* (Hamburg-Paris) finde ich ebenfalls das Chamois unvertreten und unter 882 Proben nur zufällig vorhanden, weil darin das Weiss durchgehends gelblich ist. Ich bin überzeugt, dass sich der Mangel in dem Gebrauche, den sich der im Ganzen

Digitized by Google

nicht übel ausgefallene Farbendruck zum Ziele genommen, sehr bald herausstellen wird und begreife dessen Entstehung nur aus dem Beistande Jemandes, der, statt die Natur und die Verwendung im Auge zu haben, von der vorgefassten Meinung ausging, die Farbenreihe sei, abgesehen von den Mischungen mit Weiss oder Grau, mit den Spectralfarben und dem Purpur erschöpft.

Zu S. 169. Die Fluorescenz der Netzhaut betr.

Am 13. Dec. waren wir so glücklich ein gut conservirtes Augenpaar vom Menschen zu bekommen, während gleichzeitig die Sonne unbedeckt schien und die Untersuchung im Focus der ultravioletten Strahlen gestattete.

Die Augen entstammten einer am 12. Dec., 5 Uhr, bei Gaslicht verstorbenen 30jährigen Frau, deren Section Leptomeningitis chron. und Encephalitis chron. ergab. Sofort nach dem Tode war das Licht entfernt, die Leiche um 6 Uhr in's eiskalte Sectionslocal gebracht worden, wo die Augen um 9 Uhr unter Lichtschutz exstirpirt und in Eis verpackt wurden. Aus beiden noch sehr wenig eingesunkenen Augen schlüpfte die Retina mit dem Glaskörper untrennbar verbunden aus. Die Färbung der wohlerhaltenen Stäbchenschicht war hellviolet, an einzelnen Stellen bräunlich von eingelagertem Pigment (nicht von aufliegenden Pigmentzellen); 3 mm. breit fehlte die Färbung an der Ora serrata im ganzen Umkreise, ebenso in der Fovea centralis, nächst welcher der gelbe Fleck gut zu erkennen war. Das Haften des Glaskörpers machte die Herstellung eines ebenen, zur feineren Untersuchung der Fovea geeigneten Präparats unmöglich und da sich der sie enthaltende Lappen faltete, haben wir leider auf die Untersuchung der Fluorescenz in der Fovea ganz verzichten müssen. Im andern Auge riss die Retina im Umkreise der macula ab und das Herausnehmen des zurückgebliebenen Stückes misslang bei der Eile, zu der das unsichere Sonnenlicht nöthigte, gänzlich.

Digitized by Google

Zuerst wurde die Ora serrata mit der Zonula und der davon eingeschlossenen Linse in den Focus des zweimal gebrochenen übervioletten Lichtes gebracht. Die stark gelbliche Linse sah darin nicht, wie sonst im lebenden Auge, bläulichweiss, sondern weissgrünlich aus, die Retina ebenso, aber beträchtlich dunkler, besonders an der ungefärbten Ora serrata, wenig heller im äussern, hintern Umkreise der Ora, wo ein flüchtiger Blick den Anfang des Sehpurpurs vorher gezeigt hatte. Das Präparat wurde jetzt zerschnitten und das grössere Stück bis zum vollkommenen Schwinden des Sehpurpurs an die Sonne gehalten. Beide Stücke im Uebervioletten verglichen, zeigten sich sehr verschieden, die Fluorescenz im belichteten bedeutend verstärkt, aber nur soweit, als der Sehpurpur gereicht hatte, während der purpurfreie Theil der besonnten Ora von der dunkel gehaltenen gar nicht zu unterscheiden war. Da die Sonne sich hoffnungslos bedeckte, wurden die Präparate auf Porzellanplatten ausgebreitet, indem man Sorge trug, den Glaskörper nach unten zu bringen und jedes Ueberwallen auf die Stäbchenschicht zu verhindern, in welchem Zustande sie z. Th. nach gründlichster Belichtung sogleich mit Hülfe des continuirlichen Vacuums über SH_2O_4 im Dunkeln getrocknet wurden.

Als am 18. Dec. wieder Sonnenlicht zu haben war, zeigten die belichteten und die dunkel gehaltenen Stücke der Ora keine Unterschiede im Uebervioletten und ihre Fluorescenz war erheblich schwächer, als die der noch am tiefsten gefärbten Netzhautabschnitte der hinteren Augenhälften. Die letzteren fluorescirten etwas stärker und grünlicher, als wir es früher gesehen hatten. Bedeutend auffälliger war die Erscheinung an den belichteten Stücken und diese hatten dunklere Flecken, wo die Stäbchen stellenweis abgeschabt worden. Nach diesem Befunde glaubten wir annehmen zu müssen, dass die Netzhaut neben unverändertem Purpur überall etwas Sehweiss in den Stäbchen enthalten habe,

Digitized by Google

was aus der Belichtung des Auges vor dem Tode, vielleicht aus der dem Gaslicht vorausgegangenen Tageshelle im Beginne der Agone erklärt werden kann. Fluorescenz im Blau und im Violet, welche *v. Bezold* und *Engelhardt* (Ber. d. Acad. z. München, 7. Juli 1877 und klin. Monatsbl. f. Augenheilk. XV. Jhrg. S. 134) der Netzhaut intra vitam, ausser der seit *Helmholtz* bekannten im Ueberviolet, zuschreiben, haben wir weder an der getrockneten menschlichen Retina, noch an frischen gleichviel ob belichteten oder purpurnen Netzhäuten des Rindes, des Schweins und des Frosches nachweisen können. Es wird sich vielleicht noch Gelegenheit finden, die von *v. Bezold* und *Engelhardt* verwendete Methode zum Nachweise solcher Fluorescenz, über welche wir ausgedehnte Untersuchungen angestellt haben, eingehend zu erörtern und abweichende Ansichten darüber zu begründen.

Zu S. 78. Die Anatomie der Kaninchennetzhaut betr.

Es dürfte bekannt sein, dass die Stäbchenschicht im Kaninchenauge hinter dem Streifen der markhaltigen Nerven keine Unterbrechung erfährt. Die Netzhaut ist dort auch eben so purpurn, wie in dem ganzen oberen Theile des Auges und man erkennt ihren weissen Streifen daher an Präparaten, die mit der Vorderfläche auf eine weisse Unterlage angetrocknet worden, kaum. Im Lebenden reflectirt der weisse Balken allerdings sehr viel Licht, aber wenn man das Auge von hinten besieht, wird kein solcher Schatten bemerkbar, dass man den blinden Fleck des Kaninchens für so ausgedehnt halten dürfte, wie die Bündel der dunkelrandigen Nerven.

Zu S. 423. Die Löslichkeit des Sehpurpurs betr.

Da geschmolzenes Parafin das so wenigen Mitteln zugängliche Indigblau aufnimmt, wurden über SH_2O_4 getrocknete Netzhäute in grösserer Anzahl mit leicht schmelzbarem Parafin längere

Digitized by Google

Zeit bei 45° C. erhalten und öfter geschüttelt: es ging nichts Farbiges in das Parafin über. Längeres Erwärmen auf höhere Temperaturen entfärbte den Bodensatz; plötzliche Bleichung des Purpurs trat bei 80° C. ein. Unter Parafin von 40° C. befindliche Netzhäute wurden durch Licht allmählich entfärbt.

Zu S. 19. Vom Verhalten des Sehpurpurs und seiner photochemischen Zersetzungsprodukte zu Nerven und reizbaren Geweben.

Nach einer älteren Angabe (Arch. f. Anat. u. Physiol., 1859. S. 237) sind Lösungen krystallisirter Galle von 1—2 pCt. ohne erregende Wirkung auf motorische Froschnerven, und ebenso wirkungslos, bei flüchtiger Berührung am Querschnitte, auf den Muskel. Es war daher der Versuch zu machen, wie sich solche, an sich nicht reizende Cholatlösungen nach Aufnahme des Sehpurpurs und der übrigen aus Froschnetzhäuten damit extrahirbaren Stoffe gegen Nerven und Muskeln verhielten. Ich löste soviel Sehpurpur aus frischen Netzhäuten in 1 p.ct.iger Galle auf als aufgenommen wurde, filtrirte und tauchte den Nerven sehr erregbarer Froschschenkel in die Lösung. Dies bewirkte keine Zuckung, ebensowenig das Einhängen des grössten Theiles des Nerven während ½ Stunde, wenn das Präparat sich in einem gehörig feucht erhaltenen Raume befand; andernfalls erzeugte die am Nerven emporkriechende, durch Verdunstung concentrirter werdende Galle starke Zuckungen. Wurde die Purpurlösung gleich nach dem Eintauchen des Nerven oder erst nach längerer Zeit, wenn Imprägnirung der Gewebe damit anzunehmen war, statt wie bis dahin mit Natronlicht, mit der Magnesium-Flamme oder durch Sonnenstrahlen beleuchtet und gebleicht, so traten keine Zuckungen auf. Vorher gebleichte Purpurlösungen wirkten ebensowenig erregend auf den Nerven. Vom Muskelquerschnitte aus erzeugte die Lösung, gleichviel ob purpurn oder gebleicht, zuweilen Zuckung.

Digitized by Google

Eine Purpurlösung, durch mehrtägiges Dialysiren in der Kälte soweit von Galle befreit, dass sie nicht mehr bitter schmeckte, dann im Vacuum stark concentrirt, erregte weder den Nerven, noch den Muskel; Zutreten des Lichtes und Bleichung änderten daran nichts. Die Masse war übrigens nicht homogen, sondern bildete ein gallertiges Magma, worin mikroskopisch sog. Myelinformen zu erkennen waren.

Im Sinne der photochemischen Erregungshypothese wäre vielleicht ein anderer Ausfall dieser Versuche willkommen gewesen; ich muss aber bekennen, dieselben kaum in anderer Erwartung begonnen zu haben, da ich mir nicht vorstellen mochte, dass Substanzen, welche wie das Sehgelb und das Sehweiss nach der Hypothese **nur** zur Reizung der Stäbcheninnenglieder bestimmt sind, zu den groben Reizmitteln gehören, mit denen wir die Nervenfaser auf ihrem Verlaufe zu erregen vermögen. Die Annahme wäre ein ähnlicher Verstoss gegen die thatsächliche, ungeheure Differenz zwischen der Erregbarkeit sensibler Stämme und deren Endigung in den Sinnesorganen gewesen, wie es z. B. die Forderung ist, dass NH_3 die leitende Faser errege, weil wir den Körper riechen und schmecken.

Mit der Stäbchenseite auf der Zunge zerdrückte Froschnetzhäute erzeugten weder vor noch nach der Belichtung Geschmacksempfindung.

Digitized by Google

Erklärung der Abbildungen.

Tafel 6.

Durchschnitte der Stäbchen- und Epithelschicht der Netzhaut des Frosches. Erhärtung mit *Müller*'scher Lösung, später in Alkohol; Präparate in Canadabalsam.

Die Verschiedenheiten der Stäbchenlänge beruhen auf Unvollkommenheiten der Zeichnung.

Fig. 1—7 stellen Retinae dar, deren Pigmentschicht im Controlauge haftend gefunden wurde; davon waren die Stäbchen entsprechend Fig. 1, 2, 3 durch Licht gebleicht, Fig. 4 entspr. roth belichtet, nicht gebleicht, Fig. 5, 6, 7 im Dunkeln gehalten und purpurn.

Fig. 8—11 nach Präparaten, deren Controlauge die Retina vom Epithel gelockert zeigte. Fig. 8 entspricht dem belichteten und gebleichten Zustande, Fig. 9, 10, 11 Dunkelaugen.

Weiteres über die Behandlung der Augen vor dem Tode ist unter den Figuren angegeben.

Da die Zeichnungen dünnen Meridionalschnitten entsprechen, stellen sie nicht die ganze Umscheidung des Stäbchenquerschnittes mit Pigment dar.

Tafel 7.

Sonnenspectrum und Absorptionsspectra des Sehpurpurs und des Sehgelbs.

Digitized by Google

Bemerkungen über den Nachweis von Enzymen in der Unterkieferdrüse des Kaninchens.

Von **J. N. Langley,**
B. A. Fellow of Trinity College, Cambridge.

Schon im Anfange des vorigen Jahres (1877) habe ich einige Beobachtungen begonnen in der Absicht die Angaben *Nussbaum*'s über mikroskopische Erkennbarkeit der sog. Speichelfermente in der absondernden Drüse (Arch. f. Mikrosk. Anat. Bd. XIII p. 721) zu prüfen. Während mich äussere Umstände verhinderten dieselben ganz nach Wunsch durchzuführen, sind inzwischen Untersuchungen von *Grützner* (*Pflüger*'s Arch. Bd. XVI p. 105) über denselben Gegenstand erschienen. Meine Versuche können trotz ihrer Unvollkommenheit vielleicht die Beobachtungen *Grützner*'s, die sich auf die Unterkieferdrüse des Kaninchens beziehen, in einigen Punkten ergänzen.

Den Ausgang der *Nussbaum*'schen Arbeit bildet die Thatsache, dass das nach der *v. Wittich*'schen Methode bereitete amylolytische Submaxillarferment Osmiumsäure reducirt; geschlossen wurde daraus, die fermenthaltigen Theile der Drüsen müssten sich mit OsO_4 tief schwärzen und wenn man das Ferment aus der Drüse extrahire, müssten deren Ferment bildende Theile, mit OsO_4 behandelt, sich schwächer färben. Die Methode bestand darin, Stückchen der frischen, lebenswarmen Drüse bestimmte Zeit in OsO_4 von 1 pCt. zu legen und mit solchen zu vergleichen, welche nach 3tägiger Extraktion in Glycerin mit

Digitized by Google

oder ohne vorgängige Erhärtung durch Alkohol in OsO_4 gelegt worden. Gefunden wurden in den ersteren Präparaten sehr tief gefärbte Zellen, im Centrum der Alveolen gleich neben den Schaltstücken gelegen; an den letzteren mit Glycerin behandelten Objecten central gelegene Zellen von gleich schwacher Färbung, wie die peripherischen, am Rande der Alveolen befindlichen. *Nussbaum* folgert hieraus, dass die inneren Drüsenzellen, die ich aus noch zu erwähnenden Gründen „Uebergangszellen" nennen will, das Ferment bereiten und dass die äusseren Zellen der Läppchen an der Fermentbildung keinen Antheil nehmen.

Indem ich einstweilen von der Nothwendigkeit des Schlusses absehe, möchte ich die Thatsachen, woraus der letztere gezogen, erörtern. Ich kann mit der von *Nussbaum* gegebenen Beschreibung nicht ganz übereinstimmen, denn wenn man die Drüse nur mit OsO_4 behandelt und Schnitte davon anfertigt, findet man einige Zellen, welche dem Theile des Läppchens gleich nach dem Schaltstücke angehören, zwar tiefer gefärbt, als die peripherischen, aber es war mir unmöglich auf Querschnitten Färbungsdifferenzen zwischen den Uebergangszellen und denen der Schaltstücke zu constatiren. In allen Fällen färben sich die Zellen der Drüsengänge am tiefsten, weniger intensiv die Uebergangszellen und die der Schaltstücke, am wenigsten die peripherischen der Läppchen. Nach *Nussbaum* sollen die Schaltstücke aus kleinen verlängerten Zellen (vgl. seine Abbildungen) zusammengesetzt sein und diese plötzlich, wie *v. Ebner* es zuerst beschrieben, in die grossen peripherischen Zellen, ohne Zwischenstufe übergehen, während mir die die Schaltstücke zusammensetzenden Zellen nur wenig länglich und nach Grösse und Aussehen in die Zellen des Läppchens überzugehen scheinen. Ich finde es deshalb schwer zu entscheiden, ob gewisse Zellen zum Schaltstücke oder zur Alveole gehören, und nenne sie daher Uebergangszellen, als welche sie die Beschaffenheit der Gangepithelien OsO_4 zu reduciren bis zu einem gewissen Grade beibehalten.

Digitized by Google

Kommen die Drüsenstückchen erst nach Glycerinextraktion, gleichviel ob vorher mit Alkohol behandelt oder nicht, in OsO_4, so findet man, dass alle Zellen, welche sonst davon geschwärzt werden, sich jetzt in viel geringerem Grade färben, aber nicht nur die Uebergangszellen, sondern auch die der Schaltstücke und der Gänge. Die Differenz der ersteren und der peripherischen in den Läppchen wird dadurch geringer, aber es hat mir nach dreitägigem Liegen der Stückchen in Glycerin nie so gelingen wollen, wie *Nussbaum*, Gleichheit der Tinktion zu erzielen. Möglicherweise ist dies nach viel längerer Behandlung mit Glycerin, als bisher geschehen, jedoch der Fall. Nach meinen Beobachtungen müssen also alle zelligen Elemente der Drüse, mit Ausnahme des eigentlichen Alveolenepithels, eine oder mehrere Substanzen enthalten, welche OsO_4 energisch reduciren, und vom Glycerin entweder gelöst oder chemisch verändert werden.

Eine solche Substanz wird von *Nussbaum* in den Gängen nicht angenommen; in den Schaltstücken hat er sie nicht beobachtet und in den Uebergangszellen, wo er sie fand, erklärte er sie für das amylolytische Ferment. Ist das Letztere richtig, so kommt man mit dem, was ich über die thatsächliche Ausdehnung der OsO_4-Reaction fand, zu dem wenig annehmbaren Schlusse, dass nicht die eigentlichen Drüsenzellen oder das Epithel der Alveolen, sondern die Gangepithelien vorzugsweise das Enzym bereiten, und in geringerem Grade die Zellen der Schaltstücke und die Uebergangszellen.

Mit der folgenden Methode habe ich versucht hierüber zu entscheiden. Vier möglichst kleine Stücke aus der Gl. submaxillaris eines eben getödteten Kaninchens wurden vorbereitet:

a. Durch Einlegen in OsO_4 von 1 pCt. während 2 Stunden,
b. mit absolutem Alkohol während 24 Stunden, Einlegen während 3 Tagen in starkes, reines Glycerin und 2stündiger Behandlung mit OsO_4 von 1 pCt.,

Digitized by Google

c. wie b, aber ohne Glycerin, nach möglichster Entfernung des Alkohols, durch 2stündige OsO_4-Wirkung,

d. durch Einlegen in Glycerin während 2 Tagen und nachfolgende 2stündige Behandlung mit OsO_4.

Wenn das Entfernen des Fermentes im Sinne *Nussbaum*'s einzig und allein die Färbungsunterschiede solcher Präparate bedingte, so mussten a und b, aus welchen es nicht entfernt worden, und b und d, die es beide hergegeben hatten, gleich sein; gab es aber mehrere Ursachen, welche Verschiedenheit der Färbung bedingen, unter denen die An- oder Abwesenheit des Fermentes eine war, so brauchte a nicht ähnlich mit c zu sein, aber c musste verschieden von b sein, weil das Ferment aus c nicht durch Glycerin, wohl aber aus b entfernt worden.

In der That enthielt ausschliesslich das in der gewöhnlichen Weise frisch mit OsO_4 behandelte Stückchen a die beschriebenen tief gefärbten Zellen; alle übrigen Stücke, b c d zeigten mässig gefärbte Gangepithelien, schwach gefärbte Schaltstücke und Uebergangszellen und kaum bemerkbare Färbung der Alveolenzellen. Dass es thatsächlich keinen Unterschied zwischen c und b gab, erwies schon, dass die Abnahme der OsO_4-Reaction von dem Entfernen des Fermentes unabhängig sei.

Als ich diese Beobachtungen anstellte, ging ich, wie *Nussbaum*, von der Meinung aus, dass es ein Ferment in der Unterkieferdrüse des Kaninchens gebe, und ich glaubte an irgend welche Ungeschicklichkeit meinerseits, als es mir niemals gelingen wollte amylolytische Wirkungen mit den Glycerinextrakten dieser Drüse zu erhalten. Ich sehe jetzt, dass ich zu denselben Resultaten, wie *Grützner* gekommen bin und ein Material vor mir hatte, das keine amylolytische Wirkungen besass. Meine Beobachtungen würden aber auch ohne diesen Umstand hinreichen, die *Nussbaum*'schen Folgerungen zu erschüttern, und für den Fall, dass irgend welche Enzyme in der Unterkiefer-

Digitized by Google

drüse des Kaninchens noch nachgewiesen werden, zeigen, dass die OsO_4-Reaction nicht auf dergl. zu beziehen ist, wenn man nicht das Unwahrscheinlichste annehmen will, nämlich, dass solche Stoffe dem Gewebe auch durch absoluten Alkohol zu entziehen seien.

Digitized by Google

Zur Physiologie der Speichelabsonderung.

Von **J. N. Langley.**

I. Vom Einflusse der Chorda tympani und des N. sympathicus auf die Absonderung der Unterkieferdrüse der Katze.

In den zahlreichen Abhandlungen von *Ludwig*, *Cl. Bernard*, *Heidenhain*, *Eckhard*, und andern Forschern über die Speichelabsonderung habe ich keine Bemerkungen gefunden, die hervorheben, dass die Erscheinungen der Absonderung bei der Katze sich wesentlich von denen beim Hunde unterscheiden, und es wird, glaube ich, gewöhnlich angenommen, dass die ganze Reihe der über den Einfluss secretorischer Nerven beim Hunde ermittelten Thatsachen auch bezüglich der Unterkieferdrüse anderer Thiere, soweit dieselbe schleimhaltig ist, gelten. Es gibt indessen ausser den Unterschieden, welche die geringere Entwicklung der Schleimzellen bei der Katze erwarten liess, andere, die nicht unberücksichtigt bleiben dürfen, wenn man gründliche Einsicht in die Erscheinungen der Speichelabsonderung haben will. Auf solche wünsche ich in dieser Abhandlung die Aufmerksamkeit zu lenken.

Beim Hunde ist bekanntlich der durch Reizung des N. sympathicus erhaltene Speichel überaus zähe und enthält viel Schleim, während der durch Erregung der Chorda tympani erhaltene mehr oder weniger wässerig ist und weit geringere Mengen Mucin enthält. Bei der Katze ist der Sympathicusspeichel

Digitized by Google

weniger zähe, als der Chordaspeichel. Es ist also bei der Katze das Gegentheil von dem der Fall, was beim Hunde die Regel ist, doch ist gleich hinzuzufügen, dass beide Speichelarten der Katze dünnflüssiger sind, und dass die zäheste Chordaabsonderung nichts ist im Vergleiche zu der bekannten dickflüssigen Beschaffenheit des Sympathicusspeichels vom Hunde. Der aus der Canüle fliessende Speichel der Katze kann in normalem Zustand niemals zu langen Fäden ausgesponnen werden, wie jener, und enthält auch nur eine geringe Menge Mucin, aber er ist niemals nach Chordareizung so wässerig, wie das höchst verdünnte Secret, welches Sympathicusreizung erzeugt. Die Verschiedenheit zwischen beiden Thieren betrifft also hauptsächlich die sympathische Absonderung: bei dem einen ist diese constant zähe, bei dem andern wässerig. Es ist hierfür gleichgültig, ob der Stamm des Sympathicus am Halse, oder ob die Fäden, welche aus dem obern Halsganglion in Begleitung der Gefässe zur Drüse gehen, gereizt werden. Von *Heidenhain* (Studien a. d. Physiol. Inst. zu Breslau, 1864) ist zwar erwiesen, dass beim Hunde der Sympathicusspeichel nach stundenlangem Reizen und Fliessen zuletzt wässrig wird, aber dies steht nicht im Widerspruche zu den erwähnten normalen Verschiedenheiten zwischen Hund und Katze, da vom normalen Sympathicusspeichel des Hundes nie behauptet wird, dass er wässerig sei, noch weniger, dass er es mehr sei, als der Chordaspeichel.

Heidenhain hat noch auf einen andern die Chorda und den Sympathicus betreffenden Umstand hingewiesen, von dem man angenommen hat, dass er eine gründliche Verschiedenheit in der Organisation oder in dem Verhältnisse dieser Nerven zur Drüsenzelle beweise. Er zeigte, dass eine sehr kleine Dosis (10—15 mgr.) Atropinsulfat die Chorda vollständig lähme, während eine grosse Dosis des Giftes den Einfluss des gereizten Sympathicus nicht verhindere. Dies ist so vielfach bestätigt, dass man an der Ver-

Digitized by Google

schiedenheit der Giftwirkung auf die beiden Nerven nicht zweifeln kann, aber Versuche, die ich angestellt habe, lassen mich glauben, dass es eine Verschiedenheit des Grades, nicht der Art sei. Wie dies übrigens sich verhalten möge (und es ist ein Gegenstand, auf den ich später zurückzukommen hoffe), so findet eine bemerkenswerthe Verschiedenheit statt: 15 mgr. Atropin in die Vena cruralis des Hundes gespritzt lähmen die Chorda mit Sicherheit, während 100 mgr. auf dieselbe Weise eingeführt, den Sympathicus nicht lähmen. Bei der Katze hingegen lähmt Atropin alsbald sowohl die sympathische Absonderung, wie die der durch die Chorda bewirkten.

Eine sehr geringe Menge Atropin, gewöhnlich 3—6 mgr. des Sulfates, genügen zur Wirkung bei der Katze; für den Sympathicus scheint eine etwas grössere Dosis nöthig, um die Wirkung von den zwischen Ganglion und Drüse befindlichen Fäden zu hindern, als um den Erfolg vom Halsstamme aufzuheben. Bei einem Versuche wollte der Stamm des Nerven nach Vergiftung mit 10 mgr. keine Absonderung mehr hervorbringen, während man sie von den oberen Fäden noch erhielt und dies dauerte unter allmählicher Abnahme des Speichelflusses fort bis 25 mgr. eingespritzt waren; dann war alle weitere Reizung vergebens. Im Augenblick will ich diese Verschiedenheit nicht verfolgen, sondern die Thatsache, dass 10—30 mgr. Atropin sowohl den Sympathicus, wie die Chorda lähmen. Ich darf darauf hinweisen, dass dieselbe die Richtigkeit der Folgerung, die man aus den Verhältnissen beim Hunde gezogen, einigermassen schwächt, der Annahme nämlich, dass das Atropin auf einen gewissen Theil der Chordafasern, wahrscheinlich deren Endigung, wirke, aber die Speichelzelle unberührt lasse, da dieselbe eben noch vom Sympathicus aus erregt und zur Thätigkeit veranlasst werden konnte. Nimmt man jedoch auf die an der Katze beobachteten Thatsachen Rücksicht, so wird der Beweis, dass Atropin nur

Digitized by Google

auf Nervenenden, nicht auf die secretorische Zelle wirke, hinfällig und wenn sich beim Hunde auch nur graduelle Verschiedenheit der Giftwirkung auf die beiden Secretionsnerven herausstellt, wie ich glaube, dass es noch geschehen wird, so muss man auf weitere Versuche denken, um festzustellen, ob das Gift blos auf Nervenenden und in Folge von Verschiedenheiten im Baue dieser, auf die der Chorda anders als auf die sympathischen wirke, oder ob es nicht auch die Speichelzellen angreift, grade wie es im höchsten Grade wahrscheinlich ist (vergl. Journ. f. Physiol. und Anat. 1875, Vol. X p. 187), dass es nicht nur auf motorische Nerven, sondern auch auf das Muskelgewebe wirke.

Es ist bis jetzt der Wirkung gleichzeitiger Reizung der beiden Absonderungsnerven der Unterkieferdrüse wenig Aufmerksamkeit geschenkt. *Czermak* (Wien. Sitz.-Ber. Math.-Ntrw. Cl. XXX. 1857) gelangte zu dem Schlusse, dass der Sympathicus ein Hemmungsnerv für die Chorda sei und diese Ansicht ist von *Kühne* (Physiol. Chem.) etwas verändert und weiter entwickelt worden: er stellt die beiden Nerven als einander entgegenwirkend dar, so dass keine Absonderung erfolgen würde, wenn die Chorda und der Sympathicus gleichzeitig mit electrischen Reizen behandelt werden, welche von jedem einzelnen allein grade Absonderung hervorbrächten. Hiervon ergiebt sich bei der Katze auch das Gegentheil. Bei der Katze hemmen minimale wirksame Reize, wenn sie gleichzeitig auf die Chorda und auf den Sympathicus angewendet werden, einander nicht, sondern der Betrag der Absonderung ist wenigstens gleich der Summe der Beträge der Einzelreizungen.

Ich darf die Einrichtungen beschreiben, welche getroffen wurden, um die Gleichheit der Reizungen möglichst zu sichern. Es wurden 2 Schlitteninductorien benutzt, von denen eins mit den Electroden für die Chorda, das andere mit den zur Reizung

Digitized by Google

des Sympathicus dienenden verbunden wurde. In beiden Kreisen befanden sich Schlüssel als Nebenschliessung. Statt durch den *Neef*'schen Hammer wurde der Strom in der primären Spirale mittels einer Stimmgabel von 30 Schwingungen per Secunde unterbrochen. Zu dieser ging der Strom von 2 *Daniel*'schen Elementen, weiter durch den Quecksilbercontact zum einen primären Drahte, von diesem zum andern und durch die Spirale über und unter den Enden der Stimmgabel zur Säule zurück. Der Quecksilbercontact geschah durch die *Kronecker*'sche Einrichtung. So konnte man sicher sein, immer dieselbe zeitliche Unterbrechung und Reizfolge zu haben, während die gute Amalgamirung der Zinke in den Elementen für Constanz des Stromes in der kurzen Zeit jeder vergleichenden Beobachtung sorgte.

Für die Reizung der Secretionsnerven bedurfte es im Allgemeinen solcher Rollenabstände, dass man von den an die Zungenspitze gelegten Electroden grade merkliche Empfindungen erhielt. Dies geschah bei Annäherung der secundären Spirale meiner Vorrichtung an die primäre auf 10—11,5 Ctm. Um den Erfolg an der Drüse zu erkennen, wurden entweder die Tropfen beobachtet und gezählt, welche aus der Canüle fielen oder das Vorschreiten des Speichels in einer damit verbundenen Röhre von geringem Lumen, welche eine Millimetertheilung trug.

Die Thiere waren entweder mit Chloroform oder mit Chloroform und Morphin oder mit Chloroform und Curare immobilisirt und narkotisirt. Der N. sympathicus wurde meist durchschnitten. Die gewöhnliche Methode bestand darin, den N. lingualis grade vor der Zunge abzubinden, ihn hinter der Ligatur durchzuschneiden, mit der Chorda eine Strecke weit zu isoliren und darauf die vom Tympanico-lingualis abgetrennte Chorda auf die Electroden zu bringen. Die letzteren waren entweder die *Ludwig*'schen etwas modificirten, bei deren Gebrauch die Wunde vernäht wurde, oder gewöhnliche Platinelectroden, auf denen der Nerv zu Tage lag.

Digitized by Google

Ich reizte die Nerven während einer bestimmten kürzeren Zeit, z. B. 30 Sec., und ermittelte durch Verminderung des Rollenabstandes am Schlittenapparate die Stellung, bei welcher eine Absonderung merklich wurde. Als ich für jeden Nerven diesen minimalen Reiz und die ihm folgende Secretion ermittelt hatte, wurden beide Nerven gleichzeitig während derselben Zeit (30 Sec.) gereizt und die während dieser Zeit stattfindende Secretion notirt. Die Reizungen der einzelnen Nerven wurden dann nach einander nach Verlauf von 1—2 Min. wiederholt.

Wie oben schon gesagt wurde, war der Erfolg hinsichtlich der abgesonderten Menge bei den beide Nerven zusammen betreffenden Reizungen immer wenigstens gleich der Absonderung der beiden Einzelreizungen; ich sage wenigstens, denn sie übertraf fast immer die Summe und ich glaube, dass da, wo die Einzelreizungen wirklich minimale sind, ihre gleichzeitige Wirkung mehr als die genannte Summe fördert. Wo das Reizminimum ein wenig überschritten wird, ist der Betrag der Doppelreizung zuweilen etwas grösser oder kleiner, als die erwartete Summe, aber in allen Fällen grösser, als die von einem Nerven aus zu erzielende Speichelmenge. Diese Abweichungen sind aus vielen Gründen zu erwarten, weil der Erfolg eines unveränderten Reizes von manchen nicht zu beherrschenden Umständen abhängig ist, von den Folgen des Querschnittes am Nerven, von der Bloslegung, von vorhergehenden Reizen und von Aenderungen der Reizbarkeit des absondernden Gewebes.

Wenn die Reizungen die minimale weiter überschreiten, bringt gleichzeitige Erregung geringere Wirkung hervor, als der Summe der einzelnen entspricht, und wenn sie stark sind, ist der Betrag der ersteren nicht nur geringer, als jene Summe, sondern auch geringer als der durch Reizung der Chorda allein hervorgebrachte, obschon grösser als der vom Sympathicus aus bekommene. Mit starken Strömen erhält man also eine augen-

Digitized by Google

scheinliche Hemmungswirkung vom Sympathicus auf die Chorda, aber keine umgekehrte von dieser auf jenen.

Berücksichtigt man nun, dass die Erregung beider Nerven trotz des eben Gesagten stets grössere Wirkungen hervorbringt, als die Reizung des Sympathicus für sich, und dass bei schwächeren Reizen zweifellos Summation der Wirkungen besteht, so bin ich sehr der Ansicht, dass die scheinbare Hemmungswirkung des Sympathicus auf die Chorda keine unmittelbare, sondern eine mittelbare ist, nämlich eine Folge der starken Verengung der Arterien und der verminderten Menge des durch die Drüse fliessenden Blutes, welche stattfindet, wenn der Sympathicus stark gereizt wird, was, wie *Ludwig* und *Frey* (Arbeiten d. physiol. Anst. z. Leipzig, 1877) bewiesen haben, bei Reizung beider Nerven mit Maximalströmen geschieht.

Die folgenden Versuche mögen dazu dienen die Wirkung der gleichzeitigen Reizung klar zu machen.

Versuch I. Katze mässiger Grösse, chloroformirt unter einer Glasglocke; nachdem das Thier aufgebunden 1 C. C. Morphin von 5 pCt. unter die Haut gespritzt, der N. tympanicolingualis abgebunden, peripherisch von der Ligatur präparirt; Chorda etwa 1 Ctm. lang isolirt; der Sympathicus am Halse durchschnitten, Reizapparat, wie vorhin beschrieben. 11 U. 37. Chorda gereizt; Rollenabstand nacheinander = 30, 25, 20, 17 Ctm. Dauer jeder Reizung 30 Sec. Intervall ebenfalls 30 Sec.: in keinem Falle Absonderung.

11 U. 41 Min. Rollenabstand 16 Ctm. 30 Sec. gereizt; in etwa 20 Sec. geringe Absonderung.

11 U. 42 Min. Wiederholung. in 60 Sec.: geringe Absonderung.

11 U. 45 Min. Rollenabstand 14 Ctm. 30 Sec. Sympathicus gereizt: geringe Absonderung.

11 U. 46 Min. Rollenabstand unverändert, beide Nerven gleichzeitig gereizt. Speichelfluss reichlicher als vorher.

Digitized by Google

11 U. 51 Min. Wiederholte gleichzeitige Reizung 45 Sec. dauernd: der Speichel füllt fast das Rohr.

11 U. 53 Min. Sympathicus allein gereizt. 45 Sec.: sehr geringe Absonderung.

11 U. 54 Min. Chorda allein gereizt, in 45 Sec.: nur $^1/_3$ der Röhre mit Speichel gefüllt.

11 U. 56 Min. Beide Nerven gereizt. 45 Sec.: $^3/_4$ der Röhre gefüllt.

11 U. 58 Min. Chorda allein gereizt. 45 Sec.: $^1/_3$ der Röhre gefüllt.

11 U. 59 Min. Sympathicus allein gereizt. 55 Sec.: keine Absonderung.

Versuch II. Katze von mässiger Grösse. Einrichtungen und Vorbereitungen, wie in Versuch I, aber der Sympathicus blieb undurchschnitten. Die Absonderung wurde an einer Röhre mit engem Lumen und Millimetertheilung abgelesen, welche mit der Canüle im *Wharton*'schen Gange durch ein kurzes ┬Stück verbunden war. Es wurde eine Abänderung der *Ludwig*'schen Electroden gebraucht.

Zeit.	Gereizter Nerv.	Rollenabstand am Schlitten in Ctm.		Zeit der Reizung in Sec.	Vorschreiten des Speichels während der Reizzeit in Mm.
		für die Chorda.	für den Sympath.		
12. 46.	Chorda	25	—	12	0
12. 47.	Chorda	23	—	12	0
12. 48. 30″	Chorda	21	—	12	24
12. 50. 30″	Sympathicus	—	17	12	0
12. 51. 30″	Sympathicus	—	13	12	19
12. 53. 30″	Chorda u. Sympath.	21	13	12	40
12. 55.	Chorda	21	—	12	30
12. 56. 30″	Sympathicus	—	13	12	20
12. 58.	Chorda u. Sympath.	21	13	12	45
1. 8.	Chorda	17	—	48	20
1. 10.	Sympathicus	—	14	48	25
1. 12.	Chorda u. Sympath.	17	14	48	30
1. 17.	Chorda	15	—	36	60
1. 19.	Sympathicus	—	12	36	55
1. 21.	Chorda u. Sympath.	15	12	36	75

Digitized by Google

Versuch III. Katze von mässiger Grösse. Bedingungen wie in II. Das Thier bekommt nach dem Aufbinden 2 C. C. Curare von 2 pCt. unter die Haut.

Zeit.	Gereizter Nerv.	Rollenabstand am Schlitten in Ctm.		Zeit der Reizung in Sec.	Vorschreiten des Speichels während der Reizzeit in Mm.
		für die Chorda.	für den Sympath.		
1. 59.	Chorda	12.	—	18	1
2. 0.	Sympathicus	—	16.	18	0
2. 1.	Chorda u. Sympath.	12.	16.	18	4
2. 3.	Chorda	11. 5	—	18	8. 5
2. 4.	Sympathicus	—	15. 5	18	0
2. 5.	Chorda u. Sympath.	11. 5	15. 5	18	10
2. 7.	Chorda	11. 5	—	18	6
2. 9.	Chorda u. Sympath.	11. 5	15. 5	18	7
2. 10.	Sympathicus	—	15. 5	18	0
2. 12.	Sympathicus	—	14. 5	18	0
2. 13.	Sympathicus	—	14.	18	0
2. 14.	Sympathicus	—	12.	18	7
2. 15.	Chorda	11.	—	18	9
2. 17.	Chorda u. Sympath.	11.	12.	18	27
2. 24.	Chorda	10.	—	18	21
2. 26.	Sympathicus	—	11.	18	12
2. 28.	Chorda u. Sympath.	10.	11.	18	29
2. 46.	Chorda	8.	—	36	56
2. 48.	Sympathicus	—	9.	36	30
2. 50.	Chorda u. Sympath.	8.	9.	36	42
2. 52.	Chorda	8.	—	36	47
2. 55.	Sympathicus	—	9.	36	10
2. 57.	Chorda u. Sympath.	8.	9.	36	34

In Versuch III wird vielleicht auffallen, dass in einigen Fällen, wo Sympathicusreizung allein keine Absonderung bewirkte, die Speichelsecretion bei Mitreizung der Chorda grösser war, als nach Chordareizung allein. Ich habe dies nicht selten bemerkt, wenn die Reize an den einzelnen Nerven für sich *unterminimale* waren, und es ist mir nicht unwahrscheinlich, dass solche nicht genügende Reize, welche keine Secretion einleiten können, fähig sind die Absonderung zu vermehren, wenn dieselbe einmal

Digitized by Google

begonnen hat[1]); dass die Erscheinung keine Folge einer im Versuch geänderten Erregbarkeit der Nerven ist, scheint mir hinlänglich durch die Thatsache bewiesen, dass sie constant viele Male hintereinander vorkommt.

Die Hauptresultate der an der Katze angestellten Beobachtungen lassen sich zusammenfassen, wie folgt:

1. Der Sympathicusspeichel ist wässriger, als der Chordaspeichel.
2. Die Innervation der beiden Nerven wird durch Atropin gelähmt.
3. Sympathicus und Chorda sind bei Minimalreizungen keine gegeneinander wirkende Nerven und wo der Sympathicus der Chorda bei Maximalreizen entgegenwirkt, is dies scheinbar und wahrscheinlich eine Folge des verminderten Blutvorrathes.

Mit anderen Worten: 1) die Verbindung der secretorischen Fasern des Sympathicus mit der Drüsenzelle ist von etwas verschiedener Art bei der Katze, als beim Hunde, eine Verschiedenheit, welche der lähmenden Wirkung des Atropins günstig ist. 2) Durch einen Nerven geleitete Impulse (schwache) wirken auf die damit verbundene Zelle, gleichviel ob ein anderer damit verbundener Nerv thätig ist oder nicht.

Schliesslich wünsche ich Herrn Prof. *Kühne* meinen besten Dank für die mir während der vorstehenden Untersuchungen in seinem Laboratorium erwiesene grosse Freundlichkeit auszusprechen.

[1]) Ich habe einige Versuche mit dem Sympathicus, wie mit der Chorda angestellt um zu probiren, ob ein Minimalreiz nicht die Wirkung hervorbringe, dass ein unmittelbar darauf folgender schwächerer Reiz den Erfolg vermehrt, und bis jetzt mit bejahendem Resultate.

Berichtigung.

S. 335 Zeile 11 lies hinter „Fluorescenz“: „oder Dichroismus“.

Digitized by Google

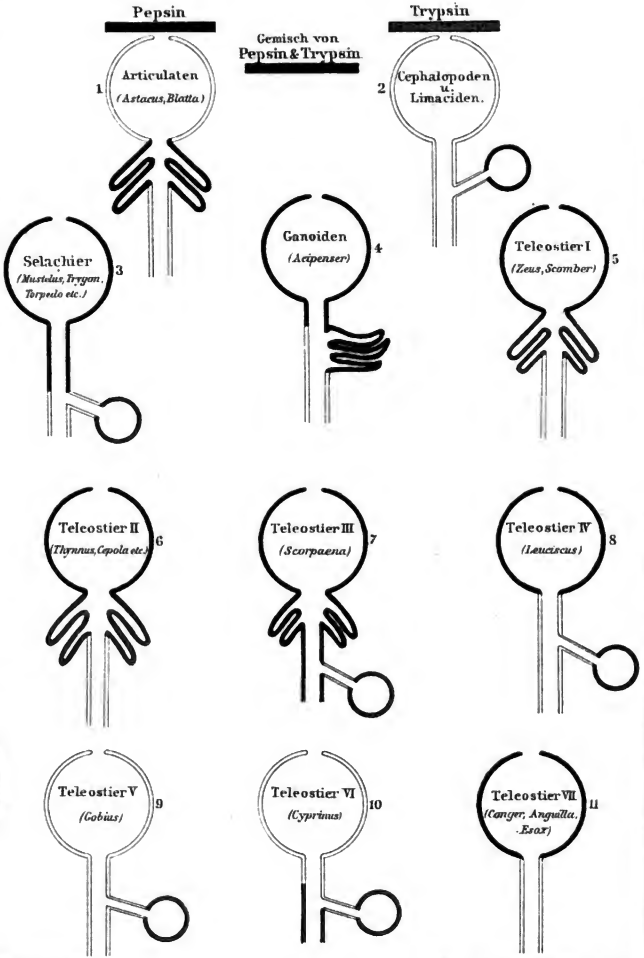
Inhaltsverzeichniss des ersten Bandes.

Seite

Zur Photochemie der Netzhaut (2. Abdruck) von *W. Kühne* . . . 1
Nachschrift 11
Ueber den Sehpurpur von *W. Kühne* 15
Ueber die Verbreitung des Sehpurpurs im menschlichen Auge von *W. Kühne* 105
Weitere Beobachtungen über den Sehpurpur des Menschen v. *W. Kühne* 109
Zur Chemie der Altersveränderungen der Linse von Dr. med. *M. Knies* 114
Das Sehen ohne Sehpurpur von *W. Kühne* 119
Untersuchungen über den Sehpurpur von *A. Ewald* und *W. Kühne* 139
I. Analyse der Retinafarbe 140
Spectralanalyse 149
Farbenanalyse der Purpurlösung 158
Spectralanalyse der Purpurlösung 163
Rückblick auf die Ergebnisse der Farbenanalyse 166
Von der Fluorescenz der Retina und des Sehpurpurs . . . 169
Von der Zersetzung der Stäbchenfarbe und des Sehpurpurs durch spectrale Betrachtung 185
Kurze Anleitung zur Verwendung der Verdauung in der Gewebsanalyse von *W. Kühne* 219
Ueber die Darstellung von Optogrammen im Froschauge von *W. Kühne* 225
Eine Beobachtung über das Leuchten der Insectenaugen von *W. Kühne* 242
Untersuchungen über den Sehpurpur (Fortsetzung) von *A. Ewald* und *W. Kühne.*
II. Entstehung der Retinafarbe 248
Von der Autoregeneration 249
Von der epithelialen Regeneration 255
Erfahrungen und Bemerkungen über Enzyme und Fermente v. *W. Kühne* 291
Nachtrag zur Geschichte des Trypsins 325
Versuche zur vergleichenden Physiologie der Verdauung mit besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse bei den Fischen von *C. Fr. W. Krukenberg* 327
Ueber lichtbeständige Farben der Netzhaut von *W. Kühne.* (Unter Mitwirkung von Dr. *W. C. Ayres* aus New-Orleans) 341
Untersuchungen über den Sehpurpur (Schluss) v. *A. Ewald* u. *W. Kühne.*
III. Veränderungen des Sehpurpurs und der Retina im Leben . . 370
Vom Einflusse des farbigen Lichtes auf den Sehpurpur des lebenden Auges 395
Vom Verhalten des Pigmentepithels im Lichte 411
IV. Zur Chemie des Sehpurpurs 422
Das Sehgelb 431
Enthält der Sehpurpur Eisen? 438
Vom Einflusse der Temperatur auf den Sehpurpur 440
Vom Einflusse der Temperatur auf die Lichtbleiche 444
Chemische Einflüsse auf die Lichtbleiche 450
Nachträge zu den Abhandlungen über Sehpurpur von *W. Kühne* 455
Bemerkungen über den Nachweis von Enzymen in der Unterkieferdrüse des Kaninchens von *J. N. Langley* 471
Zur Physiologie der Speichelabsonderung von *J. N. Langley* . . . 476

Digitized by Google

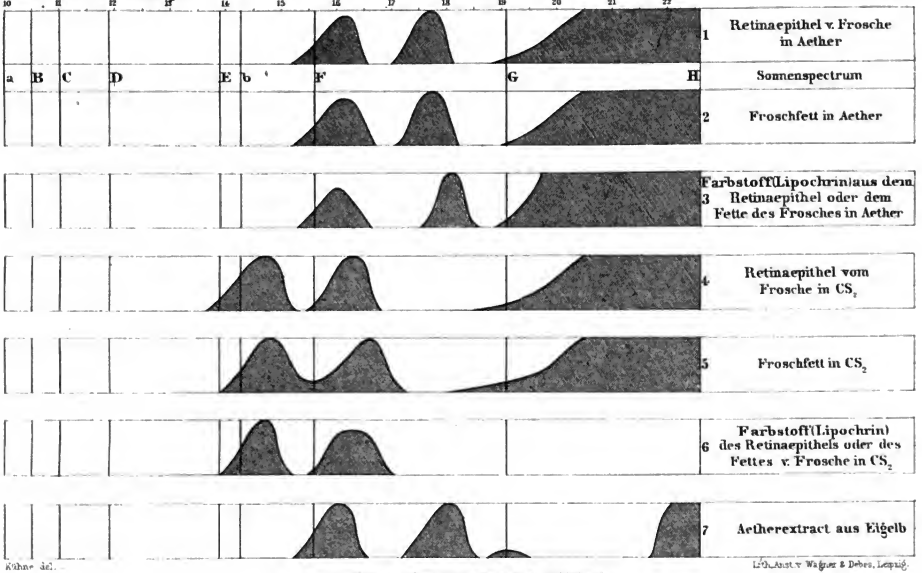
Schemata der Verbreitung der Verdauungsenzyme bei Wirbellosen und bei Fischen.



Krukenberg fecit. Lith. Anst. v. Wagner & Debes, Leipzig

C. Winter's Universitätsbuchhandlung, Heidelberg.

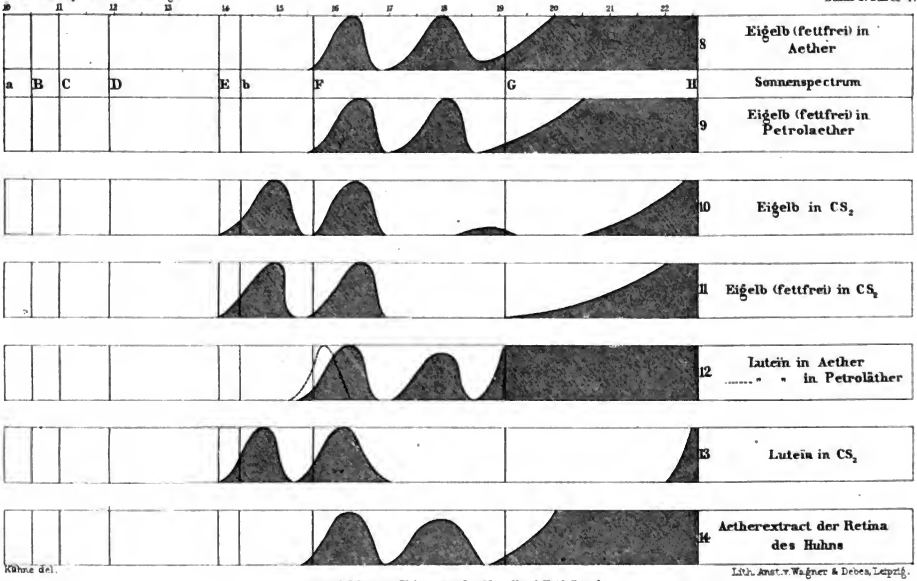
Digitized by Google



Kühne del. Lith. Anst. v. Wagner & Debes, Leipzig.

Carl Winter's Universitätsbuchhandlung, Heidelberg

Digitized by Google

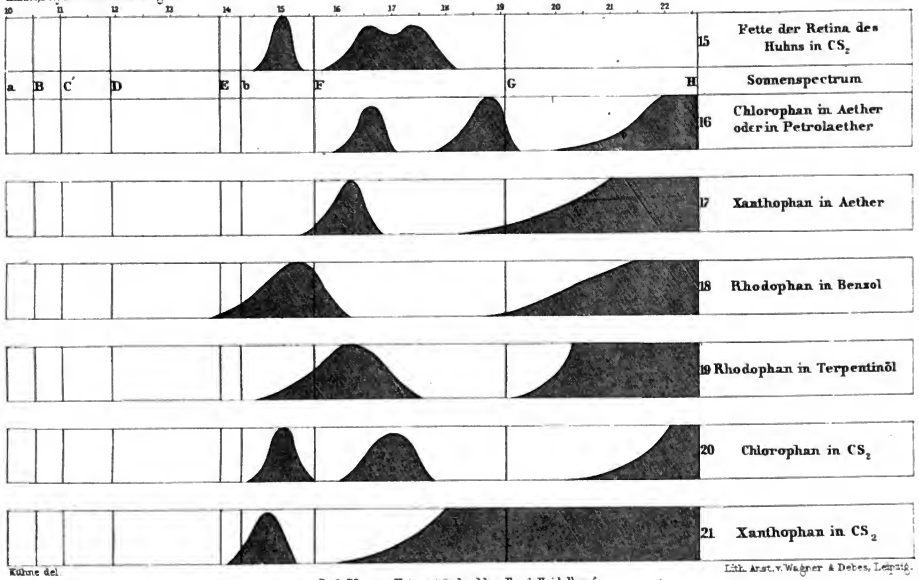


Kühne del. Lith. Anst. v. Wagner & Debes, Leipzig.

Carl Winter's Universitätsbuchhandlung, Heidelberg.

Digitized by Google

Digitized by Google



Kühne del.

Carl Winter's Universitätsbuchhandlung, Heidelberg.

Lith. Anst. v. Wagner & Debes, Leipzig.

Digitized by Google

1 Sonne

2 Sonne O²

3 Sonne. O² Curare, wenig Oedem

4 Roth beleuchtet

5 Dunkel. Curare ISt. isolirt

6 Dunkel O²

7 Dunkel O² wenig Oedem. Curare

8 Sonne, Oedem. 30°C.

9 Dunkel Curare

10 Dunkel

11 Dunkel. Oedem. 30° C.

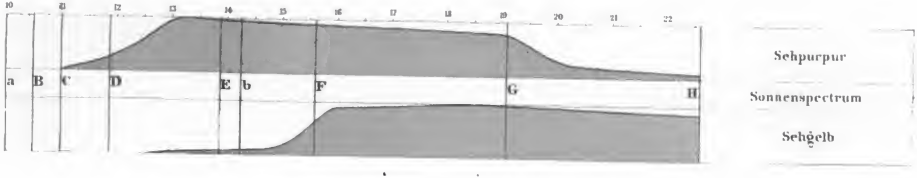
Licht
Dunkel
Halbdunkel
Licht
Dunkel
Gedeckert

Carl Winter's Universitätsbuchhandlung in Heidelberg.

A. Ewald del.

Digitized by Google

Digitized by Google



Kühne del.

Carl Winter's Universitätsbuchhandlung, Heidelberg.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google